

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
A L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE  
M.ING.

PAR  
FATEH DJELLAB

PRÉDICTION DE L'EFFORT DE MAINTENANCE ET DE DÉVELOPPEMENT EN  
UTILISANT LA TAILLE FONCTIONNELLE

MONTREAL, LE 22 NOVEMBRE 2004

(c) droits réservés de Fateh Djellab

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ  
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

Alain Abran, directeur de mémoire

Département de génie logiciel et technologie de l'information à l'École de technologie  
supérieure

Claude Y Laporte, membre du jury

Département de génie logiciel et technologie de l'information à l'École de technologie  
supérieure

Jean-Marc Desharnais, président du jury

Département de génie logiciel et technologie de l'information à l'École de technologie  
supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC  
LE 18 JANVIER 2005  
À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

# **PRÉDICTION DE L'EFFORT DE MAINTENANCE ET DÉVELOPPEMENT EN UTILISANT LA TAILLE FONCTIONNELLE**

Fateh Djellab

## **SOMMAIRE**

Notre étude consiste à exploiter un échantillon de données de mesures provenant de 145 projets de maintenance et de développement réalisés par la compagnie américaine d'impartition ('outsourcing') CSC.

Une étude basée sur ce même échantillon de données a été publiée initialement par [Kitchenham 2001] sous forme d'une étude empirique visant l'analyse de la qualité de plusieurs méthodes d'estimations incluant celle basée sur les équations de régression de points de fonction.

Les résultats publiés dans [Kitchenham 2001] indiquent que les modèles d'estimation basés sur les mesures des points de fonction s'avèrent moins précis que les estimés fournis par d'autres méthodes d'estimation utilisées par CSC.

Dans la présente étude, nous avons exploré des techniques additionnelles pour analyser le même ensemble de données et développer des modèles d'estimation basés sur des sous ensembles. Les techniques d'analyse de données utilisées dans notre étude sont :

- La technique d'élimination des points extrêmes "outliers" dans les échantillons de données, souvent utilisée dans les graphes d'équations linéaires,
- Une nouvelle technique de sélection d'ensembles de données, basée sur le concept de profil fonctionnel de projets – proposé dans [Abran 1994],
- Intersection d'intervalles de définitions des partitions basés sur les fonctions élémentaires des points de fonction – nouvelle technique proposée par Djellab.

Ces techniques de sélection de données ont été utilisées pour la dérivation des équations d'estimation de maintenance et de développement pour modéliser les relations : effort en fonction des points de fonction, durée en fonction des points de fonction, durée en fonction de l'effort et la productivité basée sur les points de fonction.

La qualité de ces modèles d'estimation est analysée plus loin et les leçons apprises sont discutées.

# **PREDICTION OF THE EFFORT OF MAINTENANCE AND DEVELOPMENT BY USING THE FUNCTIONAL**

Fateh Djellab

## **ABSTRACT**

Our study consists of exploiting a data set about 145 software maintenance and development projects realized by the CSC outsourcing company.

A study based on this data set was initially published in [Kitchenham 2001] as an empirical study analysing the quality of the estimates based on multiple estimation methods, including the method of effort regression equations based on function points.

The results published in [Kitchenham 2001] indicated that with the statistical analysis method used the estimates based on function point measurements turned out to be less accurate than those provided by other estimation methods used by CSC.

In the study reported here, we explored additional techniques for analyzing this same data set and we develop other estimation models based on sub-samples. The additional data analysis techniques used in our study are:

- The technique of the elimination of "outliers" in the data samples,
- A new technique of data sets selection, based on the concept of project functional profile - proposed in [ Abran 1994 ],
- Intersection of the intervals of definition of the partitions according to the elementary functions of the function points - proposed by Djellab.

These data selection techniques were used to derive maintenance and development effort estimation equations to model the following relationships: effort versus the function point, duration versus the function points, duration versus the effort, and productivity based on function points.

The quality of these estimations models is analysed and lessons learned are discussed.

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à Monsieur Alain Abran, professeur au département de génie logiciel et de technologie de l'information à l'École de technologie supérieure, qui m'a introduit au monde des mesures en génie logiciel en m'accordant ce sujet de recherche. Je tiens aussi à le remercier pour les incessants conseils qu'il m'a prodigués. J'ai pu, à travers cette recherche, explorer de nouvelles techniques d'amélioration de modèles basés sur la taille fonctionnelle. Il va sans dire que ce travail m'a ouvert de nouveaux horizons dans ma carrière professionnelle.

Je remercie également Madame Barbara Kitchenham d'avoir mis à notre disposition le document de son étude "An Empirical Study of Maintenance and Development Estimation Accuracy" qui a servi comme document de base de cette étude.

Par ailleurs, je tiens à remercier vivement Monsieur Jean-Marc Desharnais, professeur au département de génie logiciel et de technologie de l'information à l'École de technologie supérieure, qui a accepté la charge d'évaluer mon travail.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur Claude Y Laporte, professeur au département de génie logiciel et de Technologie de l'information à l'École de technologie supérieure.

Je remercie infiniment Ahmed Larbi pour tous les efforts qu'il a consacré pour la revue de ce document.

Je témoigne aussi ma profonde reconnaissance à ma femme qui m'a supporté et encouragé à compléter ce travail, à ma mère et mon père qui n'ont pas cessé de m'encourager ainsi qu'à mes amis Abdelmadjid Hamadouche et Lotfi Mouzai pour leur aide et encouragements.

## TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE .....	III
ABSTRACT .....	IV
REMERCIEMENTS .....	V
TABLE DES MATIÈRES .....	VIII
LISTE DES TABLEAUX .....	XI
LISTE DES FIGURES .....	XVI
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES SIGLES .....	XIX
CHAPITRE 1 ÉTUDE DE [KITCHENHAM 2001] .....	4
1.1 Résumé de l'étude de [Kitchenham 2001] .....	4
1.2 Ce qui a été discuté dans l'étude de [Kitchenham 2001] .....	5
CHAPITRE 2 VUE STATISTIQUE .....	7
2.1 Échantillon de Kitchenham .....	7
2.2 Échantillon ordonné .....	9
2.3 Élimination du projet "outlier" .....	10
2.4 Statistiques descriptives .....	10
2.4.1 Distribution des points de fonction .....	11
2.4.2 Distribution de l'effort .....	13
2.5 Variables statistiques utilisées .....	15
CHAPITRE 3 LE CONCEPT DU PROFIL FONCTIONNEL DES PROJETS .....	16
3.1 Profil fonctionnel .....	16
CHAPITRE 4 DÉCOUPAGE DES PROJETS ET RAFFINEMENT DES MODÈLES DE RÉGRESSION .....	17
4.1 Variables indépendantes .....	17
4.2 Découpage de l'ensemble de données .....	18
4.3 Choix du modèle .....	19
4.4 Techniques de raffinement dans la sélection des données pour les échantillons .....	19
4.4.1 Élimination des projets "outliers" par analyse graphique .....	19
4.4.2 Graphe du radar de profil fonctionnel et élimination des projets .....	22
4.4.3 Intersection des intervalles de profils fonctionnels .....	28

CHAPITRE 5	EXPLICATION DES RÉSULTATS DE L'EFFORT EN	
	FONCTION DES POINTS DE FONCTION .....	43
5.1	Projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective ..	43
5.1.1	Projets de développement .....	43
5.1.2	Projets de maintenance perfective .....	47
5.1.3	Comparaison des projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective.....	50
5.2	Comparaison des projets du Client 1 par rapport aux projets du client 2 .....	53
5.3	Comparaison des projets de maintenance perfective du Client 1 par rapport aux projets maintenance perfective du client 2.....	55
5.4	Comparaison des projets de développement du Client 1 par rapport aux projets développement du client 2 .....	57
5.5	Comparaison des projets de développement du Client 2 par rapport à la date de début de développement.....	59
5.5.1	Tranche 1994 .....	59
5.5.2	Tranche 1995 .....	62
5.5.3	Tranche 1996 .....	64
5.5.4	Tranche 1997 .....	67
5.5.5	Tranche 1998 .....	68
5.6	Comparaison des projets de type inconnu du Client 2 par rapport à tous les projets tous types et tous clients confondus.....	70
5.7	Comparaison des projets de maintenance perfective du Client 2 par rapport à la date de début de maintenance.....	73
5.8	Intersection des intervalles de profils fonctionnels des projets de maintenance perfective du client 2 (Effort en fonction de PF).....	74
5.9	L'application de l'équation Effort/Développement à un client particulier n'est pas possible .....	74
CHAPITRE 6	EXPLICATION DES RÉSULTATS DE LA DURÉE EN	
	FONCTION DES POINTS DE FONCTION .....	77
6.1	Explication de la synthèse et application aux cas réels d'estimation.....	77
6.1.1	Comparaison des projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective de la durée en fonction des PF .....	77
6.1.2	Comparaison des projets de développement du client 1 par rapport aux projets de développement du client 2 de la durée en fonction des PF .....	78
6.1.3	Comparaison des projets de maintenance perfective du client 1 par rapport aux projets de maintenance perfective du client 2 de la durée en fonction des PF.....	79
6.1.4	Comparaison des projets du client 1 par rapport aux projets du client 2 de la durée en fonction des PF .....	80



6.1.5 Comparaison des projets de développement du Client 2 par rapport à la « date de début » de développement de la durée en fonction des PF.....	81
6.1.6 Comparaison des projets de maintenance perfective du Client 2 par rapport à la date de début de maintenance de la durée en fonction des PF .....	82
6.1.7 Intersection des intervalles de profils fonctionnels des projets de maintenance perfective et des projets de développement du client 2 de la durée en fonction des PF .....	83
 CHAPITRE 7 EXPLICATION DES RÉSULTATS DE LA DURÉE EN FONCTION DE L'EFFORT.....	86
 CHAPITRE 8 ANALYSE DE PRODUCTIVITÉ.....	88
8.1 Productivité du client 1 .....	89
8.1.1 Productivité du client 1 : projets de développement.....	89
8.1.2 Productivité du client 1, projets de maintenance perfective .....	90
8.2 Productivité du client 2 .....	91
8.2.1 Productivité du client 2 : projets de développement.....	91
8.2.2 Productivité du client 2 : projets de maintenance perfective .....	92
 CONCLUSION .....	88
 ANNEXES SUR CD-ROM .....	101
 BIBLIOGRAPHIE .....	103

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	Nombre de projets estimés selon les diverses techniques d'estimation [Kitchenham 2001].....	8
Tableau II	Répartition des nombres de projets par Client/Type de projet (145 projets) avant l'élimination du projet "outlier" .....	10
Tableau III	Répartition des nombres de projets par Client/Type de projet (144 projets).....	11
Tableau IV	Répartition des nombres de PF par Client/Type de projet.....	11
Tableau V	Répartition des pourcentages des PF par Client/Type de projet par rapport au nombre total des PF.....	12
Tableau VI	Répartition des moyennes des PF par Client/Type de projet par rapport au nombre total des PF.....	12
Tableau VII	Répartition des moyennes des PF par Client/Type de projet par rapport au nombre total des PF de chaque client.....	12
Tableau VIII	Répartition de l'effort en heures par Client/Type de projet.....	13
Tableau IX	Répartition des pourcentages de l'effort en heures par Client/Type de projet par rapport aux nombre total des heures de l'effort global .....	13
Tableau X	Répartition des pourcentages de l'effort en heures par Client/Type de projet par rapport aux nombre total des heures de l'effort de chaque client. ....	14
Tableau XI	Répartition des moyennes de l'effort en heures par Client/Type de projet par rapport aux nombres des projets.....	14
Tableau XII	Résultats Effort / Client2 / Développement avant et après l'élimination du projet "outlier" 102.....	21
Tableau XIII	Résultats Effort / Client2 / Développement après la deuxième élimination .....	22
Tableau XIV	Données de l'Effort / Client2 / Développement (35 projets).....	24
Tableau XV	Données de l'Effort / Client2 / Développement (35 projets).....	25

Tableau XVI	Données de l'Effort / Client2 / Développement après élimination des projets dont EI-35.09 inférieur à 17.54 (20 projets).....	26
Tableau XVII	Résultat final Effort / Client2 / Développement.....	27
Tableau XVIII	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement dont EI appartient aux deux intervalles 14-40 et 40-70.....	31
Tableau XIX	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement dont EO appartient aux deux intervalles 14%-40% et 40%-70%. ....	33
Tableau XX	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement dont ILF appartient à l'intervalle 0%-28%. ....	36
Tableau XXI	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement dont EQ appartient à l'intervalle 0%-40%. ....	37
Tableau XXII	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement dont $5 \leq EI \leq 40$ , $5 \leq EO \leq 40$ , $5 \leq EIF \leq 40$ , $5 \leq ILF \leq 40$ et $5 \leq EQ \leq 40$ (8 projets). ....	38
Tableau XXIII	Résultats de l'intersection des intervalles l'Effort / Client2 / Développement (Profils fonctionnels).....	40
Tableau XXIV	Résultats de l'intersection des intervalles l'Effort / Client2 / Maintenance perfective (Profils fonctionnels).....	41
Tableau XXV	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement par date de démarrage de développement. ....	42
Tableau XXVI	Projets de développement (45 projets) de l'effort en fonction des PF. ....	45
Tableau XXVII	Projets de développement (24 projets) de l'effort en fonction des PF après élimination des 21 projets dont le profil fonctionnel ne répond pas à la condition (EI-33.11% inférieur à 16.56%).....	46
Tableau XXVIII	Projets de maintenance perfective (40 projets) de l'effort en fonction des PF après élimination des 30 projets qui sont hors profil fonctionnel (EI-35.03% inférieur à 17.52%) ....	49
Tableau XXIX	Comparaison des projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective (Effort en fonction des PF). ...	50

Tableau XXX	Comparaison des projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective .....53
Tableau XXXI	Comparaison des projets de l'Effort / Client1 par rapport à ceux de l'Effort / Client2 .....53
Tableau XXXII	Comparaison des projets du client 1 par rapport à ceux du client 2 .....55
Tableau XXXIII	Comparaison des projets de l'Effort/Perfective/Client 1 par rapport à l'Effort/Perfective/Client 2.....55
Tableau XXXIV	Comparaison des projets de l'Effort/Perfective/Client 1 par rapport à l'Effort/Perfective/Client 2.....57
Tableau XXXV	Comparaison des projets de l'Effort/Développement /Client 1 par rapport à l'Effort/Développement/Perfective/Client 2 .....57
Tableau XXXVI	Comparaison des projets de l'Effort/Développement/Client 1 par rapport à l'Effort/Développement/Client 2.....59
Tableau XXXVII	Données de l'Effort / Client2 / Développement dont la date de démarrage au courant de 1994 (9 projets) .....60
Tableau XXXVIII	Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1994 après élimination des projets dont EI-42.50% inférieur à 21.25% (4 projets) .....60
Tableau XXXIX	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1994 .....61
Tableau XL	Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1995 (8 projets).....63
Tableau XLI	Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1995 après élimination des projets dont EO%-32.88% inférieur à 16.44% (7 projets).....63
Tableau XLII	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1995 .....64
Tableau XLIII	Données de l'Effort / Client 2 / Développement de la période 1996 (11 projets).....65
Tableau XLIV	Données de l'Effort / Client 2 / Développement de la période 1996 après élimination des projets dont EI%-36.05% inférieur à 18.03% (7 projets).....66

Tableau XLV	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1996 .....67
Tableau XLVI	Résultats de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1997 .....68
Tableau XLVII	Comparaison des projets de l'Effort /Développement /Client 2 par rapport à la date de début de développement. ....69
Tableau XLVIII	Projets du client 2 par rapport à la date de début de développement. ....69
Tableau IL	Comparaison des projets de l'Effort /Maintenance perfective /Client 2 par rapport à la date de début de démarrage. ....73
Tableau L	Résultats de l'intersection des intervalles de l'Effort/Client2/Développement et l'Effort/Client2/Maintenance perfective.....74
Tableau LI	Résultats de l'Effort/ Développement .....75
Tableau LII	Résultats de l'Effort/ Client 4/ Développement.....75
Tableau LIII	Résultats de l'Effort/ Client 5/ Développement.....76
Tableau LIV	Résultats de l'Effort/ Maintenance perfective .....76
Tableau LV	Résultats de l'Effort/ Client 6/ Maintenance perfective .....76
Tableau LVI	Comparaison des projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective (Durée en fonction des PF) ....77
Tableau LVII	Comparaison des projets de la Durée/Développement /Client 1 par rapport à la Durée/Développement/Perfective/Client 2.....78
Tableau LVIII	Comparaison des projets de la Durée/Perfective/Client 1 par rapport à la Durée/Perfective/Client 2 .....79
Tableau LIX	Comparaison des projets de la Durée / Client1 par rapport à ceux de la Durée / Client2 .....80
Tableau LX	Comparaison des projets de la Durée /Développement /Client 2 par rapport à la date de début de développement .....81
Tableau LXI	Comparaison des projets de la Durée /Maintenance /Client 2 par rapport à la date de début des travaux de maintenance .....82

Tableau LXII	Résultats de l'intersection des intervalles de la Durée/Client2/Développement et la Durée/Client2/Maintenance perfective.....	83
Tableau LXIII	Détermination des intervalles de l'intersection des projets Durée/Client2/Développement .....	84
Tableau LXIV	Détermination des intervalles de l'intersection des projets Durée/Client2/Maintenance perfective.....	84
Tableau LXV	Choix des intervalles de l'intersection des projets Durée/Client2/Développement et Durée/Client2/Maintenance perfective .....	85
Tableau LXXXVIII	Productivité du client 2 : projet de maintenance perfective .....	92
Tableau LXVI	Récapitulation des résultats d'utilisation de la technique d'élimination des "outliers" au niveau des courbes de régression, appliquée sur les différentes partitions de l'effort en fonction des PF. ....	96
Tableau LVII	Récapitulation des résultats d'utilisation de la technique d'élimination des "outliers" en identifiant les profils fonctionnels, appliquée sur les différentes partitions de l'effort en fonction des PF .....	97

## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (39 projets) .....20
Figure 2	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (38 projets) .....20
Figure 3	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (35 projets) .....22
Figure 4	Diagramme de Kiviat du profil fonctionnel (35 projets) .....22
Figure 5	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (20 projets) dont EI-35.09 inférieur à 17.54.....27
Figure 6	Diagramme de Kiviat du profil fonctionnel Effort / Client2 / Développement. (20 projets).....28
Figure 7	Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable EI de la partition Effort / Client2 / Développement. ....29
Figure 8	Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EI appartient à l'intervalle 14-40.....30
Figure 9	Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EI appartient à l'intervalle 40-70.....30
Figure 10	Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable EO de la partition Effort / Client2 / Développement. ....31
Figure 11	Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EO appartient à l'intervalle 5-20.....32
Figure 12	Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EO appartient à l'intervalle 30-48.....32
Figure 13	Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable EIF de la partition Effort / Client2 / Développement. ....34
Figure 14	Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable ILF de la partition Effort / Client2 / Développement .....35
Figure 15	Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont ILF appartient à l'intervalle 0-28.....35
Figure 16	Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable EQ de la partition Effort / Client2 / Développement .....36

Figure 17	Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EQ appartient à l'intervalle 0-40.....	37
Figure 18	Intervalle identifiés pour l'Effort / Client2 / Développement par type de fonctions élémentaires.....	38
Figure 19	Diagramme de Kiviat du profil fonctionnel Effort / Client2 / Développement dont $5 \leq EI \leq 40$ , $5 \leq EO \leq 40$ , $5 \leq EIF \leq 40$ , $5 \leq ILF \leq 40$ et $5 \leq EQ \leq 40$ , (8 projets).....	39
Figure 20	Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont $5 \leq EI \leq 40$ , $5 \leq EO \leq 40$ , $5 \leq EIF \leq 40$ , $5 \leq ILF \leq 40$ et $5 \leq EQ \leq 40$ , (8 projets).....	40
Figure 21	Élimination des "outliers" des projets de développement sur la courbe de régression. ....	44
Figure 22	Élimination des "outliers" qui ne répondent pas au profil fonctionnel (EI-33.11 inférieur à 16.56) .....	47
Figure 23	Élimination des "outliers" des projets de maintenance perfective sur la courbe de régression .....	48
Figure 24	Élimination des "outliers" par identification du profil fonctionnel (EI%- 35.03% inférieur à 17.52%) .....	50
Figure 25	Raffinement des projets de développement. ....	51
Figure 26	Raffinement des projets de maintenance perfective. ....	52
Figure 27	Raffinement des projets de la partition Effort / Client1 .....	54
Figure 28	Raffinement des projets de la partition Effort / Client2 sur la courbe de régression. ....	54
Figure 29	Raffinement des projets de la partition Effort / Client2 / Perfective .....	56
Figure 31	Raffinement des projets de la partition Effort / Client 2 / Développement .....	58
Figure 32	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (9 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1994. ....	59
Figure 33	Courbe de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1994 après l'élimination des projets dont EI-42.50 inférieur à 21.25 (4 projets) .....	61
Figure 34	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (10 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1995. ....	62



Figure 35	Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1995 après élimination d'un "outlier" visible dans la courbe de régression (9 projets) .....	62
Figure 36	Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1994 après élimination des projets EI%-31.73% inférieur à 15.86% (4 projets).....	64
Figure 37	Courbe de régression Effort / Client 2 / Développement. (12 projets) dont l'année de démarrage est 1996 .....	64
Figure 38	Courbe de régression Effort / Client 2 / Développement dont la date de démarrage est au courant de 1996, après élimination d'un "outlier" (11 projets).....	65
Figure 39	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (7 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1996 .....	66
Figure 40	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (6 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1996 et EI%-36.05% inférieur à 18.03% .....	66
Figure 41	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (5 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1997 .....	67
Figure 42	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement dont la date de démarrage est au courant de 1997, après élimination d'un "outlier" (4 projets).....	67
Figure 43	Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (3 projets) .....	68
Figure 44	Tous les projets de l'effort .....	71
Figure 45	Projets du client 2 / Autres (type indéfini).....	72
Figure 47	Productivité du client 1 .....	89
Figure 48	Productivité du client 1 : projets de développement.....	89
Figure 49	Productivité du client 1 : projets de maintenance perfective .....	90
Figure 50	Productivité du client 2 : projet de développement .....	91
Figure 51	Productivité du client 2 : projet de maintenance perfective.....	92

## LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES SIGLES

PF	Point de fonction
CSC	Computer Sciences Corporation
EI	External Input
EO	External Output
EIF	External Interface File
ILF	Internal Logical File
Ins	Inputs
Inqs	inquiries
EQ	External Inquiry
Ln	Logarithme népérien
MRE	Magnitude of Relative Error
MMRE	Mean Magnitude of Relative Error
Outs	Outputs
RE	Relative Error
RMS	Root of Mean Square Error
RRMS	Relative Root of Mean Square Error
TAF	Technology Adjustment Factor
$\beta_0$	Interception
$\beta_1$	Gradient

## **INTRODUCTION**

### **Présentation du contexte de notre étude**

L'utilisation des mesures de taille fonctionnelle du logiciel en vue de prédire l'effort et la durée des projets de développement et de maintenance est soumise à une variété de facteurs nécessitant beaucoup d'analyse et d'interprétation. Les spécialistes ne sont pas convaincus qu'un seul modèle puisse intégrer toutes les exigences et contraintes spécifiques de l'industrie : technologie, domaine d'activité, criticité, ressources, outils etc. Adopter une approche analytique basée sur des observations statistiques, plutôt qu'une simple application d'un seul modèle ou un algorithme serait une stratégie préférable.

C'est dans ce cadre que s'insère notre étude qui consiste à exploiter d'une façon nouvelle un ensemble de données de mesures publiées par [Kitchenham 2001] dans le contexte d'une étude empirique sur la qualité des estimations de l'effort de développement et de maintenance : cet ensemble de données provient de 145 projets de maintenance et de développement, projets gérés par la compagnie américaine d'impartition ('outsourcing') CSC et effectués pour le compte de cinq clients de CSC au cours des années 1994 à 1998 [Kitchenham 2001].

Les données mises à notre disponibilité par B. Kitchenham pour notre étude sont :

- la durée, et l'effort - estimés avant le démarrage des projets;
- la durée et l'effort - réels après la mise en production des projets;
- la taille fonctionnelle des projets, calculée en points de fonction (PF).

L'étude de [Kitchenham 2001] portait sur l'évaluation et la comparaison des estimés a priori par rapport aux mesures réelles a posteriori.

Les estimés a priori disponibles pour les analyses de [Kitchenham 2001] étaient :

- Les estimés sélectionnés qui sont produits par le processus d'estimation où le personnel de CSC pouvait utiliser une ou plusieurs des huit méthodes proposées [Kitchenham 2001], produisant plus d'un estimé dans certains cas. Ces estimés servaient ensuite à établir les budgets des projets pour les clients de CSC.
- L'utilisation par [Kitchenham 2001] des données historiques, en points de fonction, pour construire des modèles de productivité et d'estimation avec des équations de régression de points de fonction.

En comparant les estimés faits par CSC par rapport aux estimés produits par les modèles de régression avec les points de fonction, [Kitchenham 2001] dans son étude avait conclu que les premiers estimés faits directement par le personnel de CSC étaient plus précis que ceux déterminés par une droite de régression avec la taille fonctionnelle. Le biais fondamental de cette approche, biais souligné directement par Kitchenham, est que les estimés a priori sélectionnés pourraient se révéler plus exacts car ils deviennent l'objectif des chefs de projets.

Notre étude consiste à approfondir la méthodologie de [Kitchenham 2001], et à utiliser les détails de données des projets pour essayer de construire de nouveaux échantillons et modèles d'estimation et à en vérifier la qualité.

### **Identification de quelques limites liées à l'approche choisie par Kitchenham**

La comparaison de l'exactitude des estimés sélectionnés a priori par rapport aux estimés a posteriori basés sur les équations de régression de points de fonction a été effectuée dans [Kitchenham 2001] (tableau 8, 9) avec les 105 projets de développement et de maintenance perfective du client 2. À notre avis, ce regroupement n'est pas le plus

approprié car les projets de développement et ceux de maintenance sont deux types différents de projets et pourraient avoir des courbes de productivité considérablement différentes. Il n'y a pas de raison a priori de croire que les modèles de productivité puissent être les mêmes dans les deux cas.

De plus, [Kitchenham 2001] a utilisé une technique de partition pour construire 4 groupes de 26 projets dans le jeu des 105 projets et basée sur le nombre 30 statistiquement accepté [Kitchenham 2001] (chapitre 5.1), mais il n'y était pas question de partitions basées sur des critères bien définis. Aussi, dans [Kitchenham 2001], le tableau 12 indique que le modèle choisi est instable à travers le temps; toutefois l'analyse graphique indique que plus les projets sont âgés, moins l'effort dépend des points de fonction, ce qui est assez surprenant.

Nous avons donc jugé pertinent de reprendre l'analyse de ce jeu de données en utilisant divers critères pour créer des sous-ensembles plus homogènes de données (i.e. des partitions) et en examiner la qualité de la relation entre l'effort et la taille fonctionnelle dans ces sous-ensembles.

# **CHAPITRE 1**

## **ÉTUDE DE [KITCHENHAM 2001]**

### **1.1 Résumé de l'étude de [Kitchenham 2001]**

La banque de données utilisée par [Kitchenham 2001] comprend :

Les données concernant les estimations a priori de l'effort de maintenance, de développement et de support aux usagers. Deux types d'estimations ont été considérés par Kitchenham : les estimés a priori sélectionnés par les chefs de projets et les estimés a posteriori basés sur des modèles de régression de points de fonction construits à partir de ce même ensemble de données (Annexe 41).

Il est à noter que dans l'étude de Kitchenham, un estimé sélectionné est défini comme étant un estimé choisi parmi un ensemble d'estimés produits par le processus d'estimation de CSC qui permet d'utiliser huit méthodes différentes : Average, CA-estimacs, Comparative, Function point, Delphi, Expert Opinion, Proportion, Widget Counting (Annexe 41).

Les données de base disponibles incluent l'effort réel a posteriori des différents projets ainsi que leur taille fonctionnelle.

[Kitchenham 2001] a analysé la qualité des estimés a priori par rapport aux mesures réelles a posteriori de l'effort de chaque projet. Avec la méthode analytique et statistique choisie, [Kitchenham 2001] a documenté que dans ces conditions les estimés sélectionnés sont plus exacts que les estimés basés sur les modèles de régression utilisant les points de fonction.

Les modèles proposés par [Kitchenham 2001] pour bâtir ces équations sont :

$$M1: \quad \text{Ln}(\text{Effort}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{PF Adjustés})$$

$$M2: \quad \text{Ln}(\text{Effort}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{PF non ajustés})$$

$$M3: \quad \text{Effort} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{Ins} + \beta_2 \times \text{Outs} + \beta_3 \times \text{Files} + \beta_4 \times \text{Interfaces} + \beta_5 \times \text{Inqs} + \beta_6 \times \text{TAF}$$

[Kitchenham 2001] a choisi d'utiliser le modèle M1 pour les analyses présentées dans son article [Kitchenham 2001].

## 1.2 Ce qui a été discuté dans l'étude de [Kitchenham 2001]

Il est à noter que l'étude de [Kitchenham 2001] n'a pas inclus de techniques de raffinement des modèles de régression sauf pour l'élimination d'un seul point extrême, le projet 102 considéré comme projet spécial qu'il faut écarter de l'échantillon.

D'autre part il est à noter que la division d'un grand ensemble hétérogène de données devrait être segmenté en sous-ensembles plus homogènes en terme de caractéristiques importantes.

La banque de données utilisée par l'étude de [Kitchenham 2001] contenait aussi le détail des mesures de fonctionnalités, par type de fonction soit les variables EI, EO, EIF, ILF et EQ. Toutefois, ces informations détaillées n'ont pas été utilisées dans les analyses de Kitchenham.

Par ailleurs les partitions identifiées lors de l'étude de [Kitchenham 2001] se résument ainsi :

- 16 projets du client 1;
- 116 projets du client 2;
- 52 projets de développement;
- 75 projets de maintenance perfective;
- 39 projets de développement du client 2;
- 67 projets de maintenance perfective du client 2;
- 106 projets de maintenance perfective et de développement du client 2.

Or dans l'analyse de Kitchenham, seulement l'échantillon avec 105 projets a été choisi comme sous ensemble de base approprié pour les tests de ses modèles. Ce choix présume une hypothèse implicite de [Kitchenham 2001] selon laquelle il n'y a pas beaucoup de différence entre les projets de développement du client 2 et les projets de maintenance perfective du même client.

Nous sommes toutefois certains qu'il s'agit de deux types de projets différents et qu'il est souhaitable de les explorer séparément pour la construction des modèles de régression.



## **CHAPITRE 2**

### **VUE STATISTIQUE**

#### **2.1 Échantillon de Kitchenham**

L'échantillon de [Kitchenham 2001] comprend les données des variables suivantes :

Données de base du projet (Annexe 41) :

Numéro du projet

Code client

Type du projet

Date début du projet

Durée réelle (en jours)

Effort réel (en heures)

Date estimée de fin de projet

Premier estimé (en heures)

Méthode du premier estimé

Le tableau I présente le nombre de projets qui ont été estimés par CSC avec chacune des techniques d'estimation. On remarque au tableau I que dans les projets de CSC aucun projet n'a été initialement estimé par la méthode des points de fonction. Ce n'est que plus tard que les organisations effectuèrent la mesure avec les points de fonction.

Tableau I

Nombre de projets estimés  
selon les diverses techniques d'estimation [Kitchenham 2001]

Méthode d'estimation	Projets estimés par la méthode	Pourcentage %
Expert Opinion	105	72
Average	34	23
Delphi	3	2
Comparative	1	1
CA-estimacs	1	1
Widget Counting	1	1
Proportion	0	0
Function Points	0	0

Par la suite, lorsque la mesure a été effectuée avec les points de fonction, les données suivantes sont disponibles :

Numéro du projet;  
Points de fonction ajustés;  
Points de fonction non ajustés;  
Facteur de complexité des points de fonction;  
Entrées externes (EI);  
Sorties externes (EO);  
Fichiers logiques internes (ILF);  
Fichiers interfaces externes (EIF);  
Consultations externes (EQ);

Données des estimés alternatifs : Ces données indiquent, pour chaque projet, les autres méthodes utilisées pour donner d'autres estimés autres que le premier estimé du projet.

## **2.2 Échantillon ordonné**

Pour des raisons de convivialité, les données ont été regroupées par Client/ type /date début du projet (Annexe 1). Les données considérées sont :

Numéro du projet;

Code client;

Type du projet : développement, maintenance adaptive, etc;

Date début du projet;

Durée réelle (en jours);

Effort réel (en heures);

Date estimée de fin de projet;

Entrées externes (EI);

Sorties externes (EO);

Fichiers logiques internes (ILF);

Fichiers Interfaces externes (EIF);

Consultations externes (EQ);

Points de fonction non ajustés : nous avons considéré les PF non ajustés pour mieux refléter les pourcentages des composantes de base des PF;

Pourcentage des entrées externes (EI) par rapport aux points de fonction non ajustés;

Pourcentage des sorties externes (EO) par rapport aux points de fonction non ajustés;

Pourcentage des fichiers logiques internes (ILF) par rapport aux points de fonction non ajustés;

Pourcentage des fichiers Interfaces externes (EIF) par rapport aux points de fonction non ajustés;

Pourcentage des consultations externes (EQ) par rapport aux points de fonction non ajustés.

### 2.3 Élimination du projet "outlier"

Dans l'étude de Kitchenham, le projet 102 est considéré comme un projet spécial ou "outlier" de CSC. L'effort total mesuré pour ce projet "outlier" était de 113 930 heures et la taille fonctionnelle était de 14 627 PF, soit 50 fois plus importante que la moyenne des tailles fonctionnelles des 144 autres projets.

Tableau II

Répartition des nombres de projets par Client/Type de projet (145 projets) avant l'élimination du projet "outlier"

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Develop.	Autres	Total
<i>Client 1</i>	1	3	3	1	1	7		16
<i>Client 2</i>		1	67			39	9	116
<i>Client 3</i>			2			2		4
<i>Client 4</i>	1					3		4
<i>Client 5</i>						1		1
<i>Client 6</i>			3				1	4
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>75</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>52</b>	<b>10</b>	<b>145</b>

### 2.4 Statistiques descriptives

D'après les données descriptives illustrées dans l'étude de [Kitchenham 2001] (Annexe 41) et en éliminant le projet "outlier" (14 627, 113 930), on résume la distribution des points de fonction et des heures de l'effort par client et par type de projet par les tableaux des sections suivantes.

### 2.4.1 Distribution des points de fonction

Tableau III

Répartition des nombres de projets par Client/Type de projet (144 projets)

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Develop.	Autres	Total
<b>Client 1</b>	1	3	3	1	1	7		16
<b>Client 2</b>		1	67			38	9	115
<b>Client 3</b>			2			2		4
<b>Client 4</b>	1					3		4
<b>Client 5</b>						1		1
<b>Client 6</b>			3				1	4
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>75</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>51</b>	<b>10</b>	<b>144</b>

Tableau IV

Répartition des nombres de PF par Client/Type de projet

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Develop.	Autres	Total
<b>Client 1</b>	179	449	343	134	15	2848		3968
<b>Client 2</b>		853	24062			16076	4023	45014
<b>Client 3</b>			850			1208		2058
<b>Client 4</b>	534					1943		2477
<b>Client 5</b>						1079		1079
<b>Client 6</b>			1420				946	2366
<b>Total</b>	<b>713</b>	<b>1302</b>	<b>26675</b>	<b>134</b>	<b>15</b>	<b>23154</b>	<b>4969</b>	<b>56962</b>

Tableau V

Répartition des pourcentages des PF par Client/Type  
de projet par rapport au nombre total des PF

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Développement	Autres	Total
<i>Client 1</i>		1				5		6
<i>Client 2</i>		1	42			28	7	79
<i>Client 3</i>			1			2		4
<i>Client 4</i>	1					3		4
<i>Client 5</i>						2		2
<i>Client 6</i>			2				2	4
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>46</b>			<b>41</b>	<b>9</b>	<b>98</b>

Tableau VI

Répartition des moyennes des PF  
par Client/Type de projet par rapport au nombre total des PF

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Développement	Autres
<i>Client 1</i>	179	150	114	134	15	407	
<i>Client 2</i>		853	359			423	447
<i>Client 3</i>			425			604	
<i>Client 4</i>	534					648	
<i>Client 5</i>						1079	
<i>Client 6</i>			473				946

Tableau VII

Répartition des moyennes des PF  
par Client/Type de projet par rapport au nombre total des PF de chaque client

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Développement	Autres	Total
<i>Client 1</i>	5	11	9	3	0	72		100
<i>Client 2</i>		2	53			36	9	100
<i>Client 3</i>			41			59		100
<i>Client 4</i>	22					78		100
<i>Client 5</i>						100		100
<i>Client 6</i>			60				40	100

## 2.4.2 Distribution de l'effort

Tableau VIII

Répartition de l'effort en heures  
par Client/Type de projet

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Develop.	Autres	Total
<i>Client 1</i>	1 698	3 725	5 660	1 173	1 024	23 466		36 746
<i>Client 2</i>		3 555	146 936			111 518	22 530	284 539
<i>Client 3</i>			3 874			4 292		8 166
<i>Client 4</i>	955					3 349		4 304
<i>Client 5</i>						321		321
<i>Client 6</i>			3 529				1 040	4 569
<b>Total</b>	<b>2 653</b>	<b>7 280</b>	<b>159 999</b>	<b>1 173</b>	<b>1 024</b>	<b>142 946</b>	<b>23 570</b>	<b>338 645</b>

Tableau IX

Répartition des pourcentages de l'effort en heures  
par Client/Type de projet par rapport aux nombre total des heures de l'effort global

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Développement	Autres	Total
<i>Client 1</i>		1				7		8
<i>Client 2</i>		1	43			33	7	84
<i>Client 3</i>			1			1		2
<i>Client 4</i>	0					1		1
<i>Client 5</i>						0		0
<i>Client 6</i>			1				0	1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>45</b>			<b>42</b>	<b>7</b>	<b>97</b>

Tableau X

Répartition des pourcentages de l'effort en heures  
par Client/Type de projet par rapport aux nombre total des heures de l'effort de  
chaque client

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Développement	Autres	Total
<b>Client 1</b>	5	10	15	3	3	64		100
<b>Client 2</b>		1	52			39	8	100
<b>Client 3</b>			47			53		100
<b>Client 4</b>	22					78		100
<b>Client 5</b>						100		100
<b>Client 6</b>			77				23	100

Tableau XI

Répartition des moyennes de l'effort en heures  
par Client/Type de projet par rapport aux nombres des projets

	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Developpement	Autres
<b>Client 1</b>	1698	1242	1887	1173	1024	3352	
<b>Client 2</b>		3555	2193			2935	2503
<b>Client 3</b>			1937			2146	
<b>Client 4</b>	955					1116	
<b>Client 5</b>						321	
<b>Client 6</b>			1176				1040

[Kitchenham 2001], dans son étude, s'intéresse au client 1 et au client 2 car 90% des projets proviennent de ces deux organisations, soit 11% pour le client 1 et 79% pour le client 2.

D'autre part, d'après le tableau III, deux types de projets représentent 87% des projets, soit 51% des projets de maintenance perfective et 36% des projets de développement.



## 2.5 Variables statistiques utilisées

$R^2$  Coefficient de détermination

$$Erreur = Valeur.réelle - Valeur.estimée$$

$$MRE = |ER| = \frac{|Valeur.réelle - Valeur.estimée|}{Valeur.réelle}$$

$$MMRE = \overline{MRE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n MRE_i$$

$$RMS = (\overline{SE})^{1/2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Réel_i - Estimé_i)^2}$$

$$RRMS = \overline{RMS} = \frac{RMS}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Réel_i}$$

PRED (l) = k/n où k est le nombre de projets dans un échantillon de taille n pour lequel  $MRE \leq 1$

Il est dit qu'un bon modèle doit avoir un MMRE inférieur ou égal à 0.25, ou PRED (0.25)  $\geq 0.75$  [Abran 2002].

## **CHAPITRE 3**

### **LE CONCEPT DU PROFIL FONCTIONNEL DES PROJETS**

#### **3.1 Profil fonctionnel**

Dans [Abran 1994], la notion de profil fonctionnel a été introduite et consiste en la distribution des types de fonction à l'intérieur d'un projet logiciel. Dans le cas de la méthode FPA des points de fonction, il s'agit par exemple de déterminer le ratio des cinq types de fonction (Entrées, Sorties, Consultations, Fichiers logiques internes et Fichiers Externes d'interface). D'autre part, il a été observé dans [Abran 1994] que dans un portefeuille de projets une portion importante de projets se rapprochait de la moyenne d'un profil fonctionnel de l'ensemble et que, d'autre part, quelques projets avaient des profils fonctionnels (i.e. distribution fonctionnelle) significativement éloignés de la moyenne. Nous y référerons comme : profil normal des projets et profil "outlier" des projets.

Dans l'étude présentée dans ce document, le profil fonctionnel sera considéré comme une variable indépendante qui pourrait catégoriser un ensemble de projets par rapport à un autre. Dans les calculs effectués par projet, le profil fonctionnel est basé sur les cinq types de fonctions en pourcentage par rapport au total des points de fonction non ajustés.

## **CHAPITRE 4**

### **DÉCOUPAGE DES PROJETS ET RAFFINEMENT DES MODÈLES DE RÉGRESSION**

Ce chapitre présente comment a été effectué, pour nos nouvelles analyses, le découpage des projets en plusieurs nouveaux échantillons de données.

#### **4.1 Variables indépendantes**

Les variables indépendantes disponibles sont les suivantes :

Type du projet : sept types de projets :

Maintenance corrective;

Maintenance adaptative;

Maintenance préventive;

Maintenance perfective;

Développement;

Support utilisateur;

Autres;

Client : Client 1, Client 2, Client 3, Client 4, Client 5, Client 6;

Effort en heures;

Durée en jours;

Date de démarrage;

Profil fonctionnel.

## 4.2 Découpage de l'ensemble de données

Pour les analyses de la variable dépendante de l'effort en fonction de la taille fonctionnelle, voici les variables indépendantes utilisées pour construire divers échantillons :

Effort / Tous;

- Effort / Client;

Effort / Type;

Effort / Client / Type;

Effort / Client / Type / Date de démarrage;

Effort / Client / Type / Profil fonctionnel.

Pour les analyses de la variable dépendante de la durée en fonction de la taille fonctionnelle, voici les variables indépendantes utilisées pour construire divers échantillons :

Durée / Tous;

Durée / Client;

Durée / Type;

Durée / Client / Type;

Durée / Client / Type / Date de démarrage;

Durée / Client / Type / Profil fonctionnel.

Ces découpages en divers échantillons pour analyse ont été effectués avec la contrainte que l'information sur les variables suivantes n'était pas disponible : type de technologie utilisée dans le développement ou de maintenance, la qualité et l'expertise des équipes de réalisation.

### **4.3 Choix du modèle**

Le choix du modèle M2, avec les points de fonction non ajustés, est le plus conforme aux données de base disponibles EI, EO, EIF, ILF, EQ. D'autre part, [Kitchenham 2001] confirme qu'après la transformation réduisant le modèle de prédiction aux points de fonction non ajustés, les MMRE et PRED(0.25) des deux modèles M1 et M2 sont à peine légèrement différents.

### **4.4 Techniques de raffinement dans la sélection des données pour les échantillons**

Pour procéder à une analyse statistique d'échantillons avec des données plus homogènes, on identifie, à l'intérieur de l'ensemble de données, une population avec la majorité des observations ayant des comportements similaires et une autre pour les projets qui ont une distribution très différente par rapport aux variables dépendantes et indépendantes, aussi appelés 'points extrêmes' ou "outliers" [Abran 1994]. Après élimination des "outliers" selon des critères qu'il faut toujours préciser, il est alors possible de modéliser des échantillons plus homogènes par rapport aux variables étudiées. En vue d'illustrer ces techniques, nous les appliquons sur un exemple de la partition Effort / Client2 / Développement.

#### **4.4.1 Élimination des projets "outliers" par analyse graphique**

Initialement l'équation de régression de l'ensemble complet de la partition nous donne le graphe représenté par la figure 1.

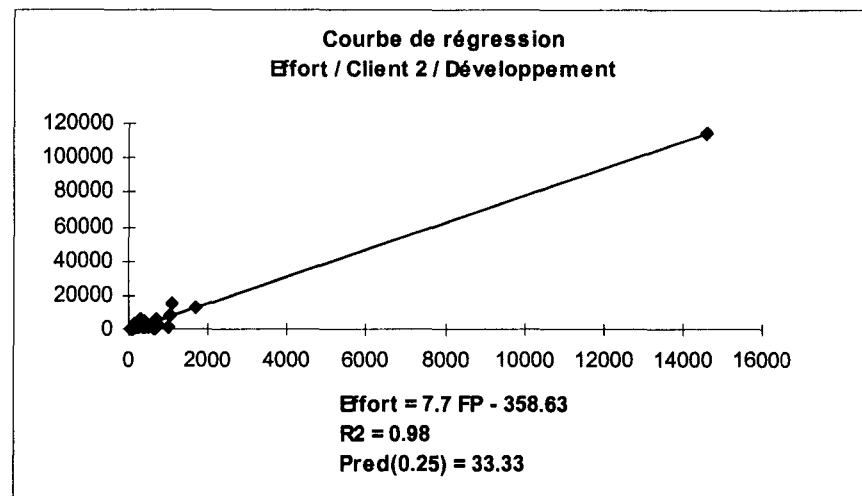


Figure 1 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (39 projets)

L'élimination du projet 102 dont la taille fonctionnelle de +15,000 FP est près de 8 fois plus grande que l'autre plus grand projet d'environ 2,000 FP conduit au graphe de la figure 2.

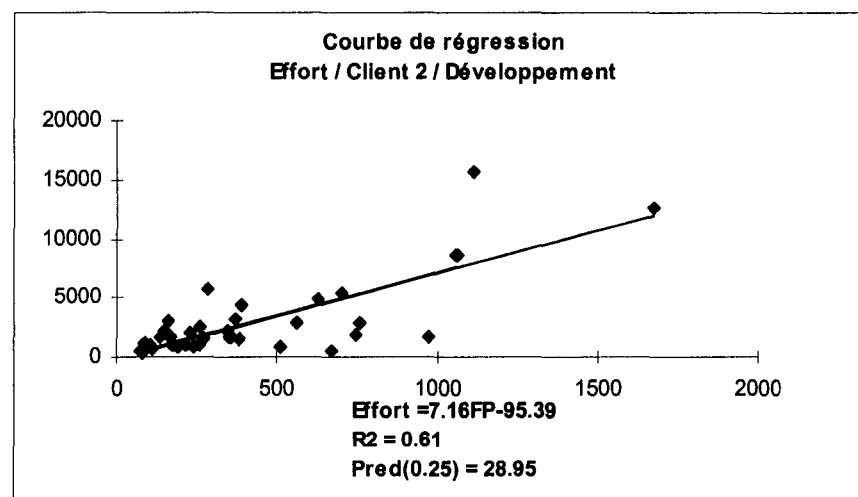


Figure 2 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (38 projets)

Tableau XII

Résultats Effort / Client2 / Développement avant et après  
l'élimination du projet "outlier" 102

<b>N</b>	39	38
<b>R<sup>2</sup></b>	0.98	0.6
<b>EQUATION</b>	7.7FP-358.63	7.16FP-95.39
<b>MMRE</b>	0.74	0.74
<b>RMS</b>	2056.44	2070.34
<b>RRMS</b>	0.36	0.11
<b>PRED(0.25)</b>	33.33	28.95

Dans ce cas (tableau XII), les résultats (i.e.  $R^2$ , RRMS et Pred (0.25)) sont en apparence moins bons, mais ils sont néanmoins plus représentatifs de l'ensemble de l'échantillon. Le point "outlier" avait à lui seul trop d'influence sur le modèle de régression, faussant ainsi la représentativité de la qualité du modèle.

Il est encore possible de vérifier l'influence de quelques autres projets potentiellement "outliers" dans l'échantillon de 38 points. Ainsi, dans le sous ensemble précédant, on identifie trois points supplémentaires entre 500 et 1,000 PF sur le critère de l'effort en fonction des points de fonction. En effet les deux projets (972,1722) et (670,580) ont un effort très faible pour une taille fonctionnelle importante et le projet (1111,15673) dont l'élimination influe sur la pente de la courbe. L'élimination de ces projets conduit à un modèle de régression avec un meilleur  $R^2$  de 0.76 (tableau XIII), comme le montre le graphe de la figure 3.

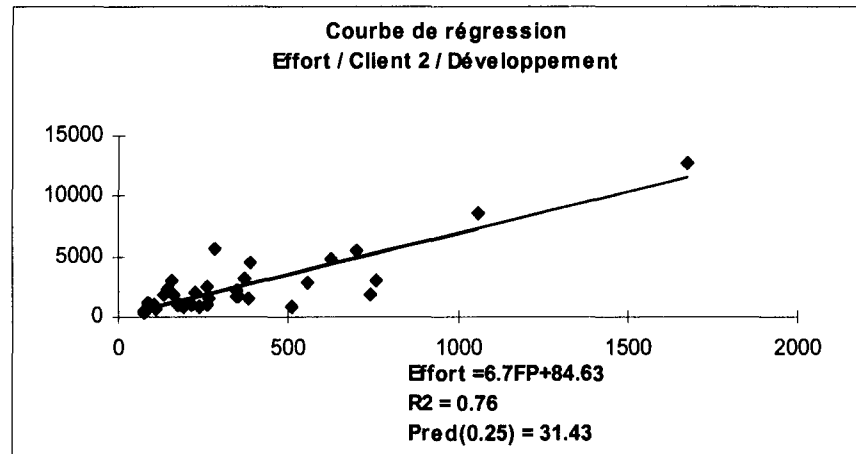


Figure 3 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (35 projets)

Tableau XIII

Résultats Effort / Client2 / Développement après la deuxième élimination

<b>N</b>	39	38	35
<b>R2</b>	0.98	0.6	0.76
<b>EQUATION</b>	7.7FP-358.63	7.16FP-95.39	6.7FP+84.63
<b>MMRE</b>	0.74	0.74	0.51
<b>RMS</b>	2056.44	2070.34	1285.14
<b>RRMS</b>	0.36	0.11	0.48
<b>PRED(0.25)</b>	33.33	28.95	31.43

#### 4.4.2 Graphe du radar de profil fonctionnel et élimination des projets identifiés

La figure 4 présente sous la forme d'un diagramme de Kiviat le profil fonctionnel de chacun des points de l'échantillon. À partir de cet échantillon, il est possible de calculer le profil fonctionnel moyen et d'éliminer les points dont le profil fonctionnel montre des ratios de fonctions supérieurs à 50% à la moyenne pour un type de fonction (Annexe 4).



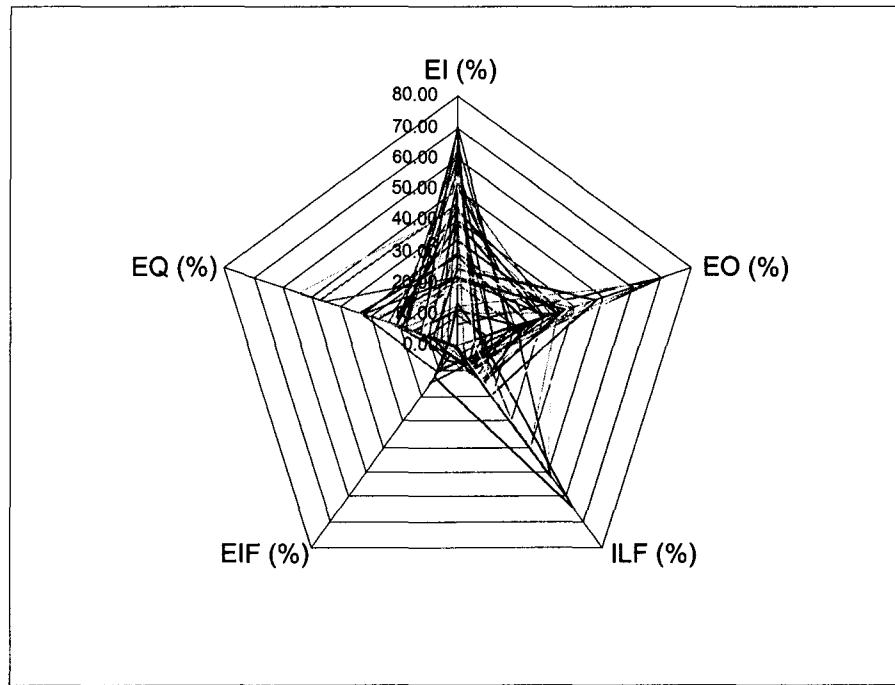


Figure 4 Diagramme de Kiviati du profil fonctionnel (35 projets)

Procédons maintenant à l'élimination des points considérés comme "outliers" par rapport au profil fonctionnel moyen de l'échantillon.

Calculons les moyennes des ratios pour chaque type de fonction; le tableau XIV montre ces résultats. On remarque que le type EI donne une moyenne pondérée  $\text{moyenne (EI)} = \left( \sum_{i=1}^n EI_i \right) / n = 35.09 \%$ , qui est la plus grande moyenne pondérée des cinq types de fonctions. Le type EI sera donc choisi comme critère d'élimination le plus significatif.

Tableau XIV

Données de l'Effort / Client2 / Développement (35 projets)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)
4414		39.07	29.05	9.51	0.00	22.37
3189		64.32	18.38	11.35	0.00	5.95
989		38.30	34.04	14.89	5.32	7.45
1737		6.77	70.68	7.52	15.04	0.00
12646		50.81	23.43	7.59	5.50	12.67
322		61.54	7.69	30.77	0.00	0.00
2895		68.73	6.46	7.26	0.00	17.55
1940		20.80	39.38	13.72	3.10	23.01
928		13.56	61.58	9.60	2.82	12.43
1455		33.68	23.68	19.21	1.32	22.11
2480		19.69	37.84	18.92	0.00	23.55
1660		11.75	32.95	50.14	0.00	5.16
1003		10.23	34.42	40.47	0.00	14.88
988		54.26	22.87	0.00	0.00	22.87
1557		21.56	30.11	2.60	0.00	45.72
980		56.07	19.63	6.54	0.00	17.76
1650		17.98	44.10	8.71	0.00	29.21
995		12.21	63.95	5.81	0.00	18.02
1113		62.79	8.14	8.14	0.00	20.93
763		60.00	12.11	8.95	0.00	18.95
2860		51.88	31.66	5.01	8.59	2.86
8509		11.53	20.42	52.46	0.66	14.93
2972		43.04	34.81	8.86	3.16	10.13
2265		28.57	23.81	14.29	0.00	33.33
654		33.93	33.93	0.00	0.00	32.14
5359		43.47	29.69	5.97	0.00	20.88
8600		21.56	36.25	14.50	0.00	27.68
1742		13.33	8.48	63.64	12.12	2.42
4824		22.72	42.40	23.04	0.00	11.84
5646		21.91	30.04	5.30	10.60	32.16
2223		45.22	12.17	15.65	3.48	23.48
570		24.66	47.95	19.18	0.00	8.22
1832		53.70	5.11	29.48	0.00	11.71
896		45.19	2.09	5.86	0.00	46.86
887		43.44	1.96	0.00	0.00	54.60
<b>Moyenne</b>		<b>35.09</b>	<b>28.04</b>	<b>15.57</b>	<b>2.05</b>	<b>19.25</b>
<b>50% moyenne</b>		<b>17.54683</b>	<b>14.01806</b>	<b>7.78462</b>	<b>1.02439</b>	<b>9.62611</b>

La dernière colonne EI' du tableau XV affiche les valeurs absolues des EI<sub>i</sub> moins la

$$\text{moyenne des EI considérés : EI}' = \left| EI_i - \left( \sum_{n=1}^n EI_i \right) / n \right|.$$

Tableau XV

Données de l'Effort / Client2 / Développement (35 projets)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EI - 35.09
4414		39.07	29.05	9.51	0.00	22.37	3.9845501
3189		64.32	18.38	11.35	0.00	5.95	29.234324
989		38.30	34.04	14.89	5.32	7.45	3.2078723
1737		6.77	70.68	7.52	15.04	0.00	28.323083
12646		50.81	23.43	7.59	5.50	12.67	15.716934
322		61.54	7.69	30.77	0.00	0.00	26.448462
2895		68.73	6.46	7.26	0.00	17.55	33.643509
1940		20.80	39.38	13.72	3.10	23.01	14.29354
928		13.56	61.58	9.60	2.82	12.43	21.530678
1455		33.68	23.68	19.21	1.32	22.11	1.4057895
2480		19.69	37.84	18.92	0.00	23.55	15.39888
1660		11.75	32.95	50.14	0.00	5.16	23.342149
1003		10.23	34.42	40.47	0.00	14.88	24.857442
988		54.26	22.87	0.00	0.00	22.87	19.173566
1557		21.56	30.11	2.60	0.00	45.72	13.528662
980		56.07	19.63	6.54	0.00	17.76	20.984766
1650		17.98	44.10	8.71	0.00	29.21	17.112472
995		12.21	63.95	5.81	0.00	18.02	22.880698
1113		62.79	8.14	8.14	0.00	20.93	27.700698
763		60.00	12.11	8.95	0.00	18.95	24.91
2860		51.88	31.66	5.01	8.59	2.86	16.788354
8509		11.53	20.42	52.46	0.66	14.93	23.558809
2972		43.04	34.81	8.86	3.16	10.13	7.9479747
2265		28.57	23.81	14.29	0.00	33.33	6.5185714
654		33.93	33.93	0.00	0.00	32.14	1.1614286
5359		43.47	29.69	5.97	0.00	20.88	8.3759091
8600		21.56	36.25	14.50	0.00	27.68	13.526911
1742		13.33	8.48	63.64	12.12	2.42	21.756667
4824		22.72	42.40	23.04	0.00	11.84	12.37
5646		21.91	30.04	5.30	10.60	32.16	13.181873
2223		45.22	12.17	15.65	3.48	23.48	10.127391
570		24.66	47.95	19.18	0.00	8.22	10.432466
1832		53.70	5.11	29.48	0.00	11.71	18.611211
896		45.19	2.09	5.86	0.00	46.86	10.098285
887		43.44	1.96	0.00	0.00	54.60	8.354227

En filtrant les projets ayant l'écart EI-35.09 inférieur à 17.54 (50% de 35.09), nous obtenons les projets montrés par le tableau XVI. Autrement dit on ne garde que les projets dont  $17.54 \leq EI \leq 52.63$ .

Tableau XVI

Données de l'Effort / Client2 / Développement après élimination des projets dont EI-35.09 inférieur à 17.54 (20 projets)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EI - 35.09
4414		39.07	29.05	9.51	0.00	22.37	3.9845501
989		38.30	34.04	14.89	5.32	7.45	3.2078723
12646		50.81	23.43	7.59	5.50	12.67	15.716934
1940		20.80	39.38	13.72	3.10	23.01	14.29354
1455		33.68	23.68	19.21	1.32	22.11	1.4057895
2480		19.69	37.84	18.92	0.00	23.55	15.39888
1557		21.56	30.11	2.60	0.00	45.72	13.528662
1650		17.98	44.10	8.71	0.00	29.21	17.112472
2860		51.88	31.66	5.01	8.59	2.86	16.788354
2972		43.04	34.81	8.86	3.16	10.13	7.9479747
2265		28.57	23.81	14.29	0.00	33.33	6.5185714
654		33.93	33.93	0.00	0.00	32.14	1.1614286
5359		43.47	29.69	5.97	0.00	20.88	8.3759091
8600		21.56	36.25	14.50	0.00	27.68	13.526911
4824		22.72	42.40	23.04	0.00	11.84	12.37
5646		21.91	30.04	5.30	10.60	32.16	13.181873
2223		45.22	12.17	15.65	3.48	23.48	10.127391
570		24.66	47.95	19.18	0.00	8.22	10.432466
896		45.19	2.09	5.86	0.00	46.86	10.098285
887		43.44	1.96	0.00	0.00	54.60	8.354227

Cette élimination nous donne pour ce sous-échantillon de 20 projets une équation de régression finale avec un  $R^2$  légèrement amélioré à 0.80, illustré par le graphe de la figure 5 ainsi qu'un profil fonctionnel typiquement caractérisé par le graphe Kiviat de la figure 6.

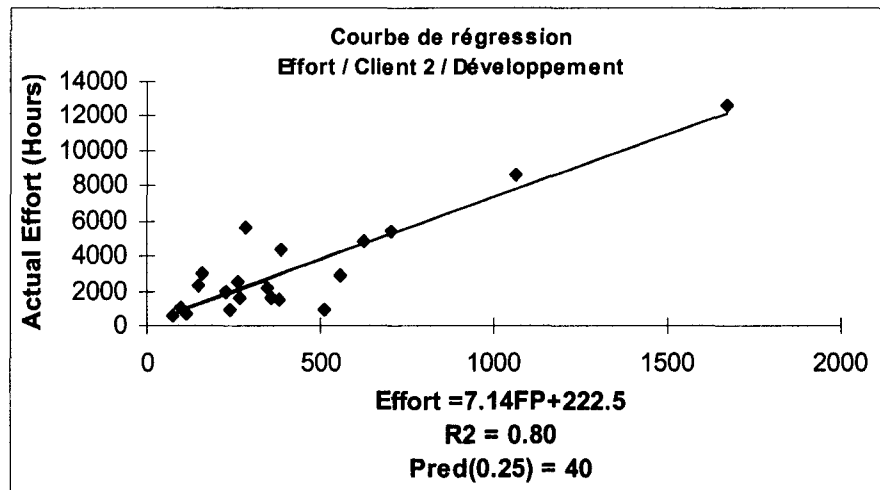


Figure 5 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (20 projets) dont EI-35.09 inférieur à 17.54

Tableau XVII

Résultat final Effort / Client2 / Développement

	Effort/Développement/Client 2			
N	39	38	35	20
R2	0.98	0.6	0.76	0.8
EQUATION	7.7FP-358.63	7.16FP-95.39	6.7FP+84.63	7.14FP+222.53
MMRE	0.74	0.74	0.51	0.53
RMS	2056.44	2070.34	1285.14	1308.32
RRMS	0.36	0.11	0.48	0.4
PRED(0.25)	33.33	28.95	31.43	40

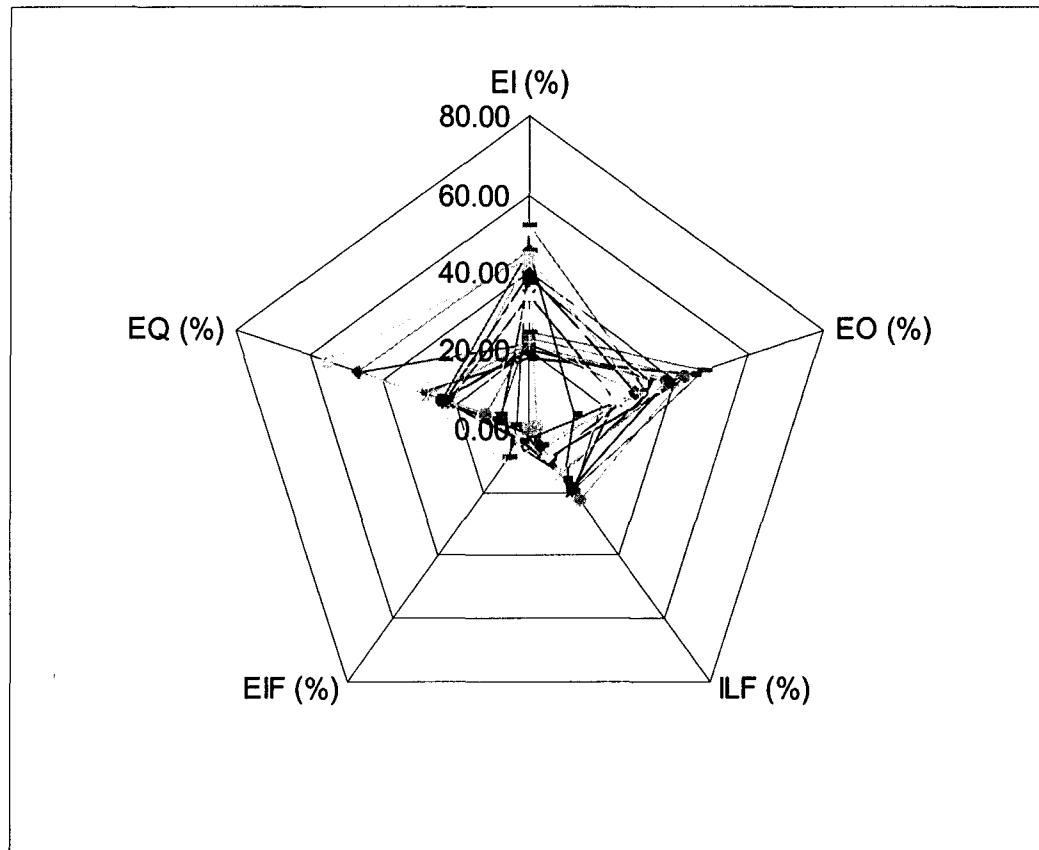


Figure 6 Diagramme de Kiviat du profil fonctionnel Effort / Client2 / Développement (20 projets)

#### 4.4.3 Intersection des intervalles de profils fonctionnels

L'utilisation de la technique<sup>1</sup> de l'intersection des intervalles de profils fonctionnels est basée sur une production de modèles par type de fonctions : EI, EO, EIF, ILF, EQ (Annexe 9).

---

<sup>1</sup> Nouvelle technique introduite par Fateh Djellab

#### 4.4.3.1 Variable EI

Le graphique de la figure 7 présente, pour la seule variable EI, le graphe de distribution des fréquences des valeurs de pourcentages des projets de développement du client 2. On voit que les fréquences ne sont pas normalement distribuées en considérant la totalité des projets. On dit que la distribution est bi-modale (Annexe 11).

Pour remédier à cette situation qui est, en fait, une réalité propre à l'ensemble des projets pris en compte, on identifie deux groupes de projets par rapport à la variable EI; le groupe des projets dont le pourcentage de la variable EI est compris entre 14% et 40% et le groupe des projets dont cette variable est comprise entre 40% et 70%.

Notre technique repose sur cette considération et permet de définir pour chaque groupe une équation de régression qui lui est spécifique.

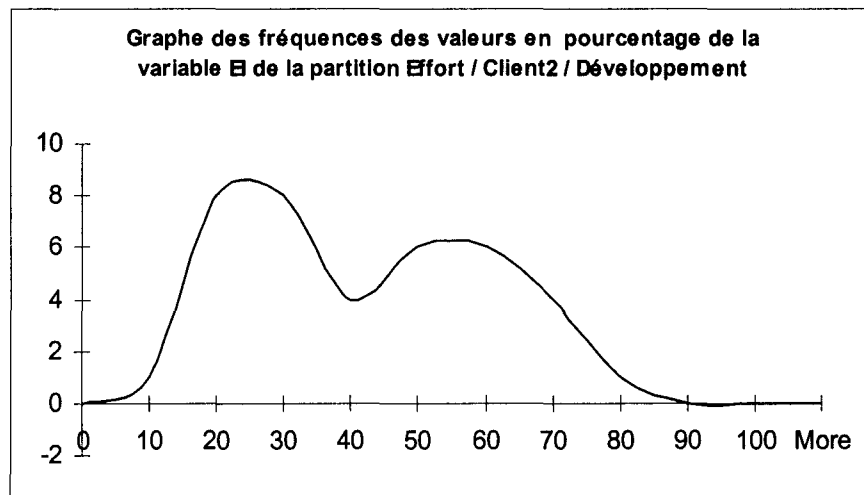


Figure 7 Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable EI de la partition Effort / Client2 / Développement

La courbe de régression qui se définit dans l'intervalle 14%-40% est représentée par le graphe de la figure 8.

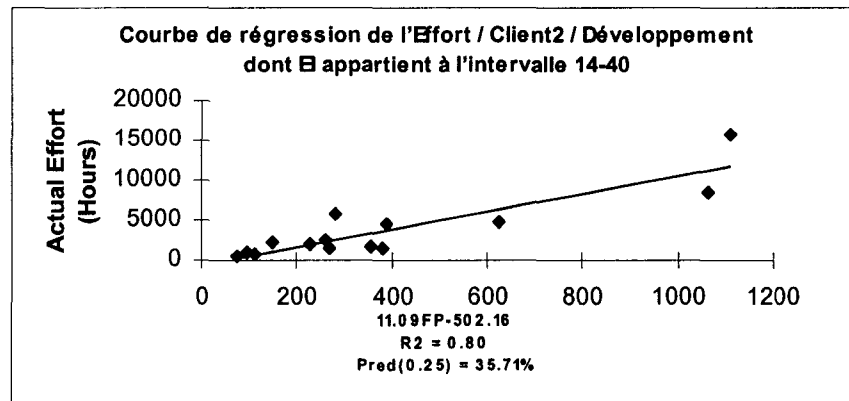


Figure 8 Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EI appartient à l'intervalle 14%-40%

La courbe de régression qui se définit dans l'intervalle 40%-70% est représentée par le graphe de la figure 9.

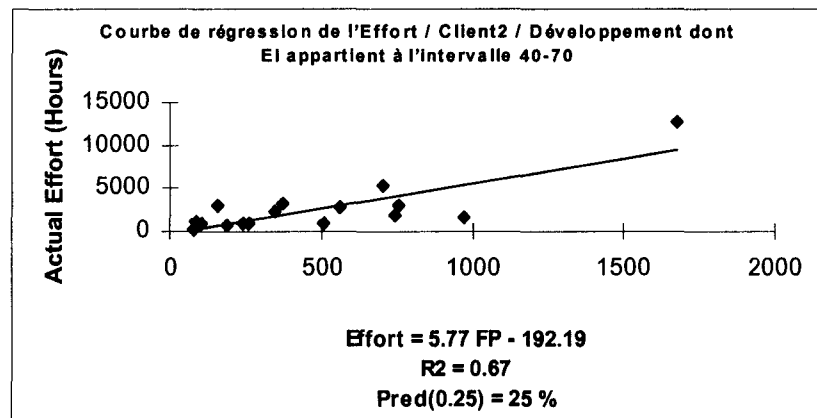


Figure 9 Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EI appartient à l'intervalle 40%-70%



Le tableau XVIII montre les résultats concernant ces deux intervalles.

Tableau XVIII

Résultats de l'Effort / Client2 / Développement  
dont EI appartient aux deux intervalles 14-40 et 40-70

	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
EI / 14-40 / Development	14	0.8	11.09FP-502.16	0.46	1788.24	0.47	35.71
EI / 40-70 / Development	16	0.66	5.77FP-192.19	0.63	1663.63	0.64	25

Il est à remarquer que la pente de la régression pour l'intervalle 14%-40% est presque le double de celui pour l'intervalle des 40%-70%, soit de 11.09 par rapport à 5.77. Ceci implique que les coûts variables en fonction de la taille sont presque le double lorsque la proportion des EI est entre 14% et 40%.

#### 4.4.3.2 Variable EO

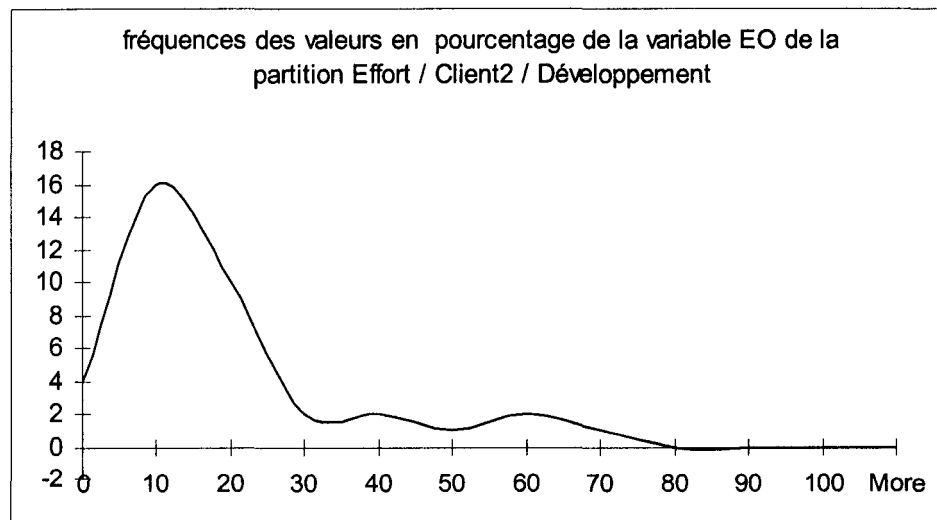


Figure 10 Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable EO de la partition Effort / Client2 / Développement

Le graphique de la figure 10 présente, pour la variable EO, le graphe de distribution des fréquences des valeurs de pourcentages des projets de développement du client 2. Les intervalles identifiés sont 5%-20% et 30%-48% (Annexe 12).

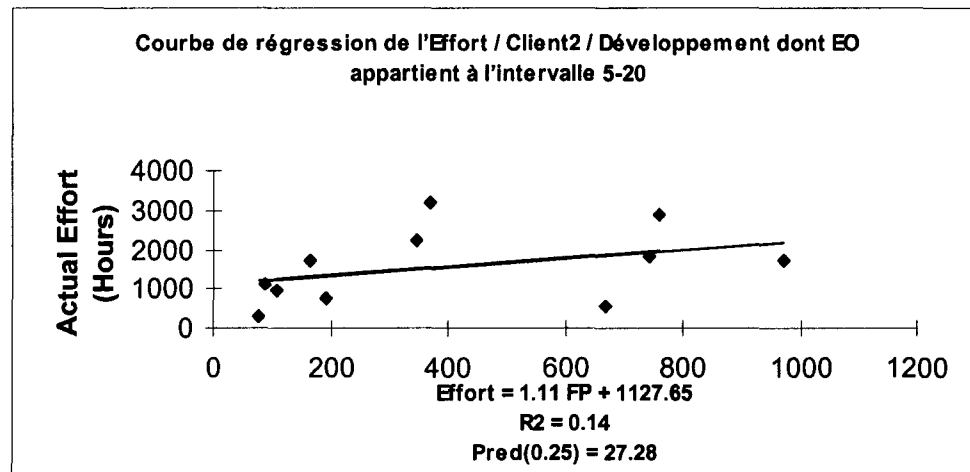


Figure 11 Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EO appartient à l'intervalle 5%-20%

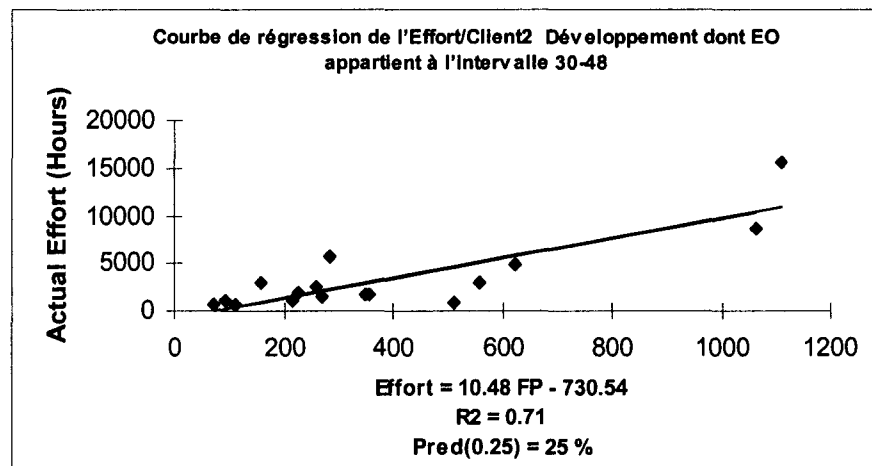


Figure 12 Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EO appartient à l'intervalle 30%-48%

Les résultats concernant ces deux intervalles sont élaborés dans le tableau XIX.

Tableau XIX

Résultats de l'Effort / Client2 / Développement  
dont EO appartient aux deux intervalles 14%-40% et 40%-70%

**Développement - Client 2 - Intersection des profils**

	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
<b>EO / 5-20 / Development</b>	11	0.14	1.11FP+1127.65	0.72	820.35	0.52	27.27
<b>EO / 30-48 / Development</b>	16	0.71	10.48FP-730.54	0.74	2046.53	0.61	25

Il est à remarquer que la pente de la régression pour l'intervalle 5%-20% est presque dix fois moins que celle pour l'intervalle des 30%-48%, soit de 1.11 par rapport à 10.48. Ceci implique que les coûts variables en fonction de la taille sont presque dix fois supérieurs lorsque la proportion des EO est entre 30%-48%. Également pour l'intervalle 30%-48%, le  $R^2$  est significatif à 0.71, alors qu'il est très faible pour l'autre intervalle de 5%-20%.

#### 4.4.3.3 Variable EIF

Le graphique de la figure 13 présente, pour la variable EIF, le graphe de distribution des fréquences des valeurs de pourcentages des projets de développement du client 2.

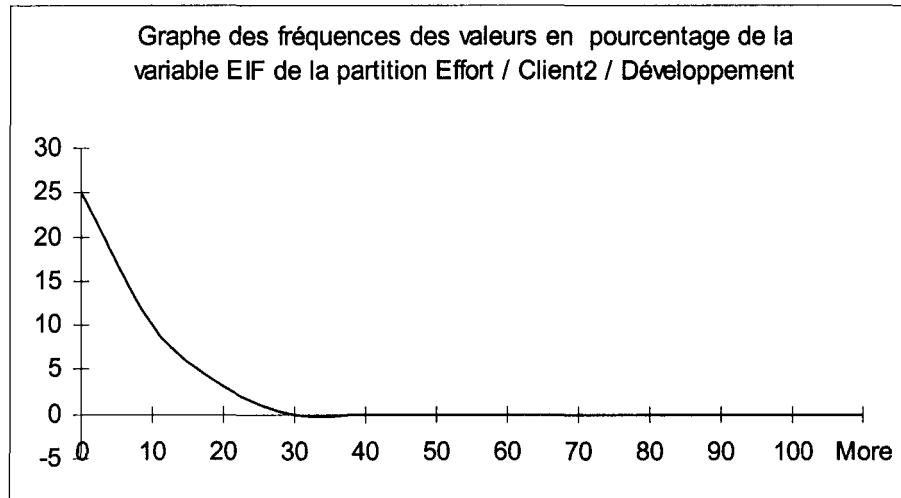


Figure 13 Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable EIF de la partition Effort / Client2 / Développement

Le graphe de la figure 13 ne montre aucun intervalle où la distribution est normale (Annexe 10).

#### 4.4.3.4 Variable ILF

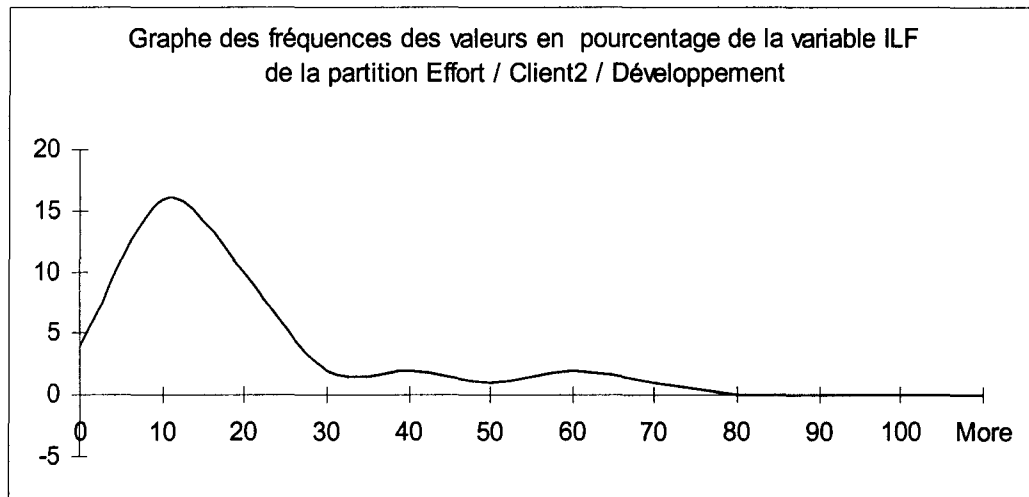


Figure 14 Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable ILF de la partition Effort / Client2 / Développement

D'après le graphe de la figure 14, la distribution est normale à l'intérieur de l'intervalle 0%-28% (Annexe 14).

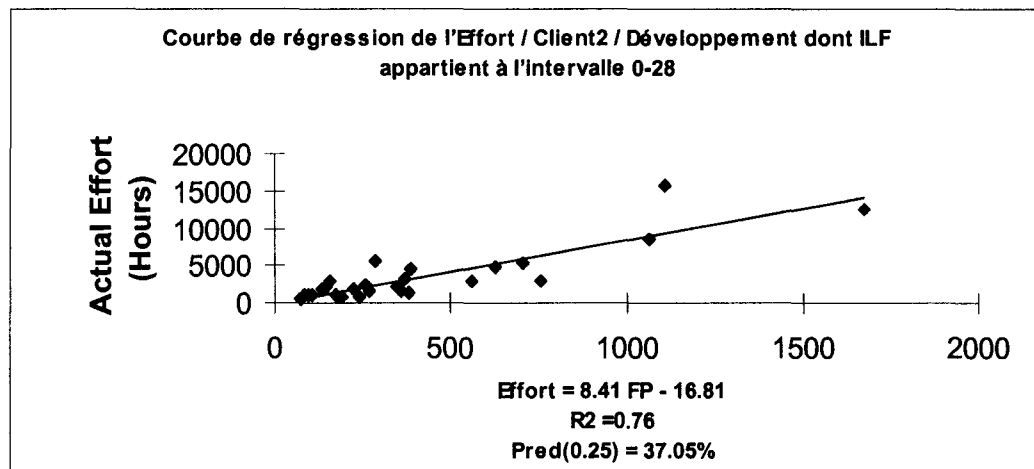


Figure 15 Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont ILF appartient à l'intervalle 0%-28%

Tableau XX

Résultats de l'Effort / Client2 / Développement  
dont ILF appartient à l'intervalle 0%-28%

Développement - Client 2 - Intersection des profils

	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
ILF / 0-28 / Development							

#### 4.4.3.5 Variable EQ

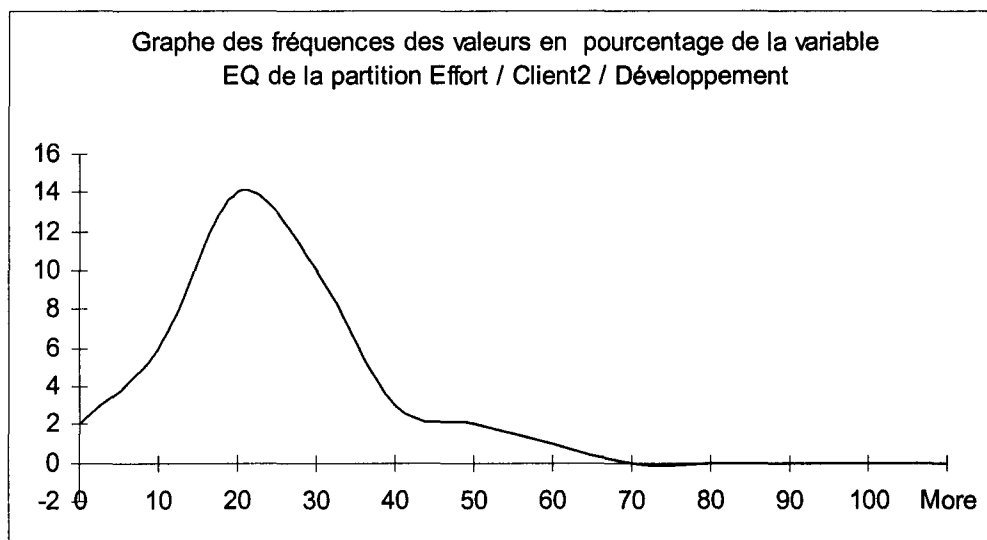


Figure 16 Graphe des fréquences des valeurs en pourcentage de la variable EQ de la partition Effort / Client2 / Développement

D'après le graphe 14 le seul intervalle où la distribution est normale est 0%-40% (Annexe 13).

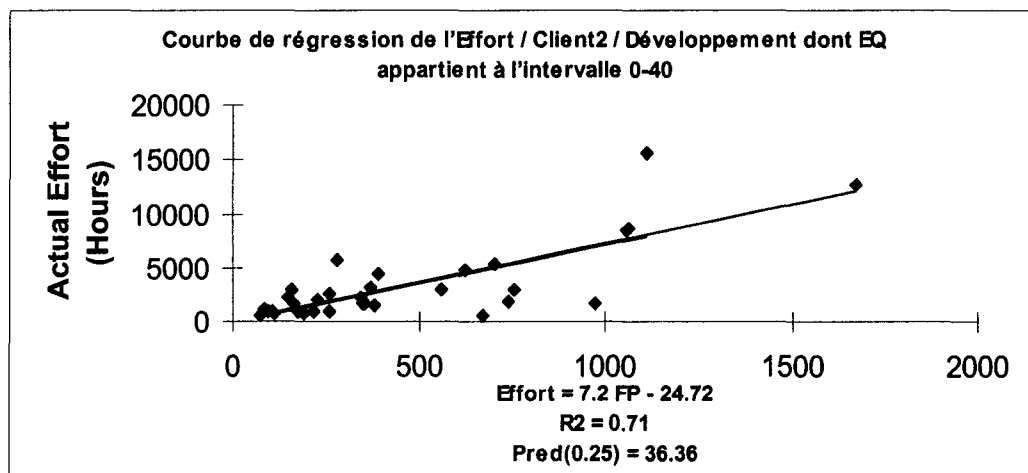


Figure 17 Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont EQ appartient à l'intervalle 0%-40%

Tableau XXI

Résultats de l'Effort / Client2 / Développement  
dont EQ appartient à l'intervalle 0%-40%

Développement - Client 2 - Intersection des profils

	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
<b>EQ / 0-40 / Development</b>	33	0.61	7.2FP-24.72	0.72	2160.62	0.67	36.36

#### 4.4.3.6 Intersection des intervalles obtenus par les variables de fonctions EI, EO, EQ et ILF

Dans la figure 18, on présente tous les intervalles identifiés par types de fonction. Dans la dernière ligne, on écrit le nombre de fois qu'une intersection a eu lieu, par exemple dans l'intervalle 0%-5%, on a l'intersection des deux variables EQ et ILF, dans l'intervalle 5%-10% on a l'intersection des trois variables EO, EQ et ILF (Annexe 15).

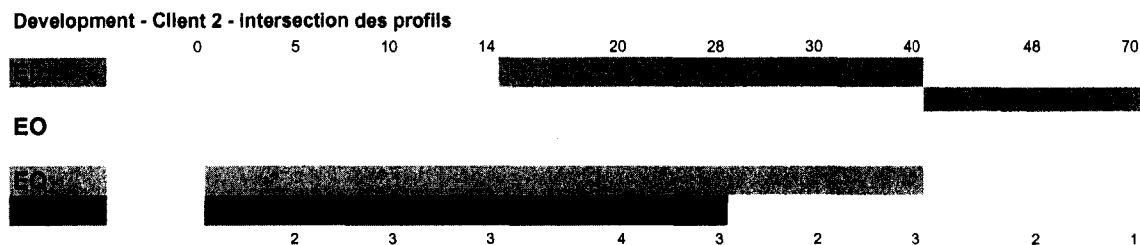


Figure 18 Intervalles identifiés pour l'Effort / Client2 / Développement par type de fonctions élémentaires

Si l'on considère que les intersections de 2 et 3 variables sont les plus représentatives, on définit par conséquent 0%-48% ou 5%-40% comme intervalles d'intersection.

Prenons l'intervalle 5%-40%, les projets qui respectent cette intersection seront les projets pour lesquels :

$5\% \leq EI \leq 40\%$ ,  $5\% \leq EO \leq 40\%$ ,  $5\% \leq EIF \leq 40\%$ ,  $5\% \leq ILF \leq 40\%$  et  $5\% \leq EQ \leq 40\%$ .

Les projets qui résultent de cette condition sont identifiés par le tableau XXII.

Tableau XXII

Résultats de l'Effort / Client2 / Développement dont  $5\% \leq EI \leq 40\%$ ,  $5\% \leq EO \leq 40\%$ ,  $5\% \leq EIF \leq 40\%$ ,  $5\% \leq ILF \leq 40\%$  et  $5\% \leq EQ \leq 40\%$  (8 projets)

P r o j e c t	Project Type	Actual Duration (Days)	Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	Actual Duration (Days)	Actual Effort (Hours)
Client 2 - Développement		392	4414	11.26	39.07	29.05	9.51	0.00	22.37	1.00771	11.347
		180	989	5.49	38.30	34.04	14.89	5.32	7.45	1.91489	10.5213
		102	1940	19.02	20.80	39.38	13.72	3.10	23.01	0.45133	8.58407
		250	1455	5.82	33.68	23.68	19.21	1.32	22.11	0.65789	3.82895
		165	2480	14.97	19.69	37.84	18.92	0.00	23.55	0.63707	9.57529
		235	2265	9.64	28.57	23.81	14.29	0.00	33.33	1.59864	15.4082
		388	8600	22.16	21.56	36.25	14.50	0.00	27.68	0.36535	8.09793
		185	5646	30.52	21.91	30.04	5.30	10.60	32.16	0.65371	19.9505



Le graphe de la figure 19 représente le graphe radar des profils de 8 projets vérifiant la condition de l'intersection, il montre un profil clairement particulier ( $5 \leq EI \leq 40$ ,  $5 \leq EO \leq 40$ ,  $5 \leq EIF \leq 40$ ,  $5 \leq ILF \leq 40$  et  $5 \leq EQ \leq 40$ ).

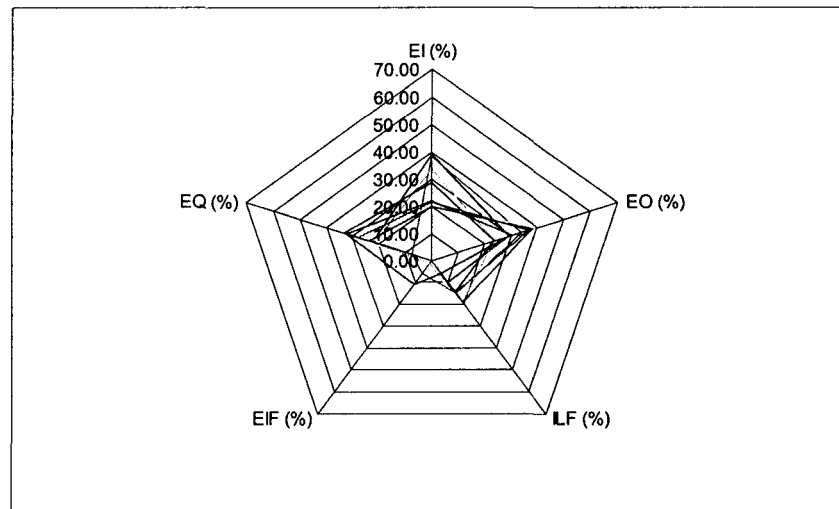


Figure 19 Diagramme de Kiviati du profil fonctionnel Effort / Client2 / Développement dont  $5 \leq EI \leq 40$ ,  $5 \leq EO \leq 40$ ,  $5 \leq EIF \leq 40$ ,  $5 \leq ILF \leq 40$  et  $5 \leq EQ \leq 40$ , (8 projets)

Le graphe de la figure 20 présente la courbe de régression de l'effort en fonction des PF à l'intérieur de l'intervalle de l'intersection.

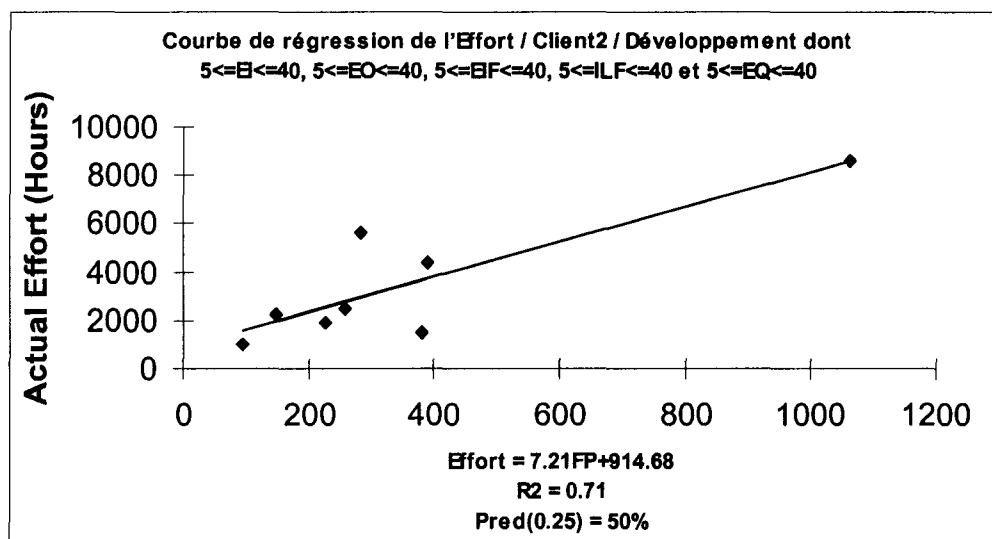


Figure 20 Courbe de régression de l'Effort / Client2 / Développement dont  
5<=EI<=40, 5<=EO<=40, 5<=EIF<=40, 5<=ILF<=40 et 5<=EQ<=40,  
(8 projets)

Les résultats de l'intersection des intervalles sont détaillés dans le tableau récapitulatif XXIII. Ils sont meilleurs que les équations initiales des intervalles où chaque fonction transactionnelle est normalement distribuée.

Tableau XXIII

Résultats de l'intersection des intervalles l'Effort / Client2 / Développement  
(Profils fonctionnels)

	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
<b>EI / 14-40 / Development</b>	14	0.8	11.09FP-502.16	0.46	1788.24	0.47	35.71
<b>EI / 40-70 / Development</b>	16	0.66	5.77FP-192.19	0.63	1663.63	0.64	25
<b>EO / 5-20 / Development</b>	11	0.14	1.11FP+1127.65	0.72	820.35	0.52	27.27
<b>EO / 30-48 / Development</b>	16	0.71	10.48FP-730.54	0.74	2046.53	0.61	25
<b>EQ / 0-40 / Development</b>	33	0.61	7.2FP-24.72	0.72	2160.62	0.67	36.36
<b>ILF / 0-28 / Development</b>	27	0.76	8.41FP-16.31	0.40	1217.5	0.62	37.04
<b>Intersection</b>	8	0.71	7.21FP+914.68	0.42	1297.43	0.37	50

Le tableau XXIV montre les résultats de l'intersection des intervalles l'Effort / Client2 /Maintenance parfaite qui sont toujours meilleurs que les équations initiales prises pour chaque variable (Annexe 15).



Parfois, on est obligé de découper à l'intérieur même d'un sous ensemble en observant d'autres variables indépendantes comme la date de démarrage afin de savoir si son influence est effective. Le tableau suivant montre un exemple de variation des résultats en ajoutant la date de développement des projets du client 2.

Tableau XXV

Résultats de l'Effort / Client2 / Développement  
par date de démarrage de développement

	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
<b>Effort / Client 2/ Développement /1994</b>							
	9	0.99	7.79FP-89.99	0.34	1145.17	0.07	44.44
	4						
<b>Effort / Client 2/ Développement /1995</b>							
	10	0.71	12.90FP-2164.18	1.56	2343.09	0.86	30
	9	0.94	15.58FP-2439.21	0.65	113.62	0.37	33.33
	4						
<b>Effort / Client 2/ Développement /1996</b>							
	12	0.62	5.78FP+434	0.6	1668.06	0.53	33.33
	11	0.89	7.51FP+104.27	0.41	891.63	0.274	27.27
	7	0.4	4.22FP+1251	0.72	1915	0.55	28.57
	6	0.86	6.74FP+704.1	0.42	963.56	0.25	33.33
<b>Effort / Client 2/ Développement /1997</b>							
	5	0.47	6.95FP+929	0.56	1403.2	0.47	40
	4	0.96	7.24FP+153	0.16	305.09	0.13	100
<b>Effort / Client 2/ Développement /1998</b>							
	3						

Il est toutefois important de remarquer qu'il s'agit parfois de très petits échantillons (de 3 à 6 projets) comme le montre le tableau XXV; il ne faut donc pas généraliser de tels résultats à d'autres situations d'estimation. Dans certains cas particuliers, d'autres types de problèmes peuvent nous conduire à confondre les clients en vue d'analyser, par exemple, la productivité d'un client par rapport à un standard. On peut aussi confondre les types de projets pour établir une moyenne pour un client au groupe particulier de clients ayant certains points en commun.

## **CHAPITRE 5**

### **EXPLICATION DES RÉSULTATS DE L'EFFORT EN FONCTION DES POINTS DE FONCTION**

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats de l'effort en fonction des points de fonction.

#### **5.1 Projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective**

Nous allons passer en revue les équations de régression concernant les projets de développement et de maintenance perfective dans un objectif d'en faire des comparaisons.

##### **5.1.1 Projets de développement**

L'élimination des projets "outliers" dans les courbes de régression nous donnent les trois graphes de la figure 21 (Annexe 7).

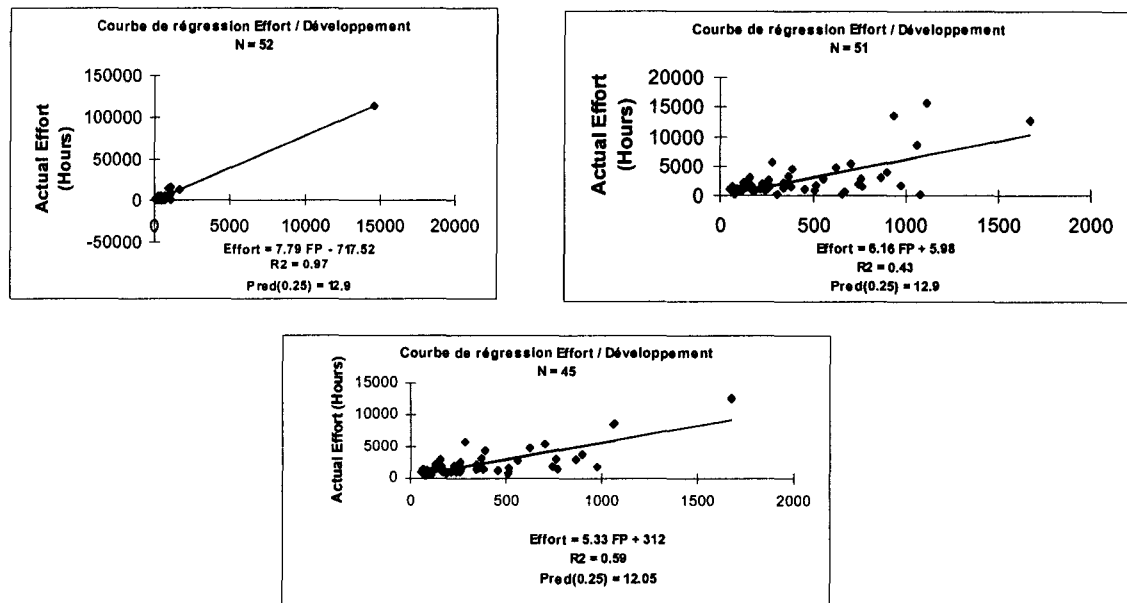


Figure 21 Élimination des "outliers" des projets de développement sur la courbe de régression

Nous allons appliquer la technique de raffinement par identification des profils fonctionnels sur les 45 projets qui restent. Calculons les moyennes des ratios pour chaque type de fonction; le tableau XXVI montre ces résultats. On remarque que le type EI donne une moyenne de 33.11%, la plus grande moyenne pour les cinq types de fonctions; le type EI sera donc choisi comme critère d'élimination le plus significatif.

La dernière colonne du tableau XXVI affiche la valeur absolue de la colonne EI moins la moyenne de cette colonne. En filtrant les projets ayant l'écart  $\text{EI} - 33.11\%$  inférieur à 16.56% qui représente 50% de la moyenne des pourcentages des EI, nous obtenons les 24 projets montrés par le tableau XXVII et dont la courbe de régression est illustrée par la figure 22.

**Tableau XXVI**  
**Projets de développement (45 projets) de l'effort en fonction des PF**

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EI - 33.11	EI - 27.40
3826	897	25.20	35.56	14.16	0.00	25.08	7.91	<=16.51
1401	67	5.97	38.81	55.22	0.00	0.00	27.14	
2170	129	19.38	36.43	13.18	0.00	31.01	13.73	
990	56	21.43	25.00	48.21	0.00	5.36	11.68	
1122	150	21.27	35.09	29.17	5.26	9.21	11.84	
4414	10	39.07	29.05	9.51	0.00	22.37	5.96	
3189	6	64.32	18.38	11.35	0.00	5.95	31.21	
989	9	38.30	34.04	14.89	5.32	7.45	5.19	
1737	3	6.77	70.68	7.52	15.04	0.00	26.34	
12646	7	50.81	23.43	7.59	5.50	12.67	17.70	
322	7	61.54	7.69	30.77	0.00	0.00	28.43	
2895	5	68.73	6.46	7.26	0.00	17.55	35.62	
1940	6	20.80	39.38	13.72	3.10	23.01	12.31	
928	12	13.56	61.58	9.60	2.82	12.43	19.55	
1455	10	33.68	23.68	19.21	1.32	22.11	0.57	
2480	10	19.69	37.84	18.92	0.00	23.55	13.42	
1660	6	11.75	32.95	50.14	0.00	5.16	21.36	
1003	15	10.23	34.42	40.47	0.00	14.88	22.88	
988	8	54.26	22.87	0.00	0.00	22.87	21.15	
1557	9	21.56	30.11	2.60	0.00	45.72	11.55	
980	107	56.07	19.63	6.54	0.00	17.76	22.96	
1650	58	17.98	44.10	8.71	0.00	29.21	15.13	
995	7	12.21	63.95	5.81	0.00	18.02	20.90	
1113	86	62.79	8.14	8.14	0.00	20.93	29.68	
763	100	60.00	12.11	8.95	0.00	18.95	26.89	
2860	59	51.88	31.66	5.01	8.59	2.86	18.77	
8509	108	11.53	20.42	52.46	0.66	14.93	21.58	
2972	8	43.04	34.81	8.86	3.16	10.13	9.93	
2265	12	28.57	23.81	14.29	0.00	33.33	4.54	
654	12	33.93	33.93	0.00	0.00	32.14	0.82	
5359	10	43.47	29.69	5.97	0.00	20.88	10.36	
1722	9	45.68	8.64	30.25	0.00	15.43	12.57	
8600	10	21.56	36.25	14.50	0.00	27.68	11.55	
1742	16	13.33	8.48	63.64	12.12	2.42	19.78	
4824	54	22.72	42.40	23.04	0.00	11.84	10.39	
5646	9	21.91	30.04	5.30	10.60	32.16	11.20	
2223	6	45.22	12.17	15.65	3.48	23.48	12.11	
570	10	24.66	47.95	19.18	0.00	8.22	8.45	
1832	8	53.70	5.11	29.48	0.00	11.71	20.59	
896	5	45.19	2.09	5.86	0.00	46.86	12.08	
887	5	43.44	1.96	0.00	0.00	54.60	10.33	
1328	949	29.45	8.75	44.61	0.00	17.20	3.66	
2964	885	34.68	52.37	2.43	1.73	8.79	1.57	
1631	518	45.93	17.44	11.63	0.00	25.00	12.82	
1432	768	12.89	72.01	7.29	3.91	3.91	20.22	
<b>Moyenne</b>		33.11	29.14	17.80	1.84	18.11		
<b>50% moyenne</b>		16.557239	14.571	8.90073	0.91789	9.05347		

Tableau XXVII

Projets de développement (24 projets) de l'effort en fonction des PF  
après élimination des 21 projets dont le profil fonctionnel ne répond pas à la condition  
(EI-33.11% inférieur à 16.56%)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EI - 33.11
3826	897	25.20	35.56	14.16	0.00	25.08	7.91
990	56	21.43	25.00	48.21	0.00	5.36	11.68
1122	456	21.27	35.09	29.17	5.26	9.21	11.84
4414	78	39.07	29.05	9.51	0.00	22.37	5.96
989	10	38.30	34.04	14.89	5.32	7.45	5.19
1940	10	20.80	39.38	13.72	3.10	23.01	12.31
1455	10	33.68	23.68	19.21	1.32	22.11	0.57
2480	10	19.69	37.84	18.92	0.00	23.55	13.42
1557	10	21.56	30.11	2.60	0.00	45.72	11.55
1650	10	17.98	44.10	8.71	0.00	29.21	15.13
2972	10	43.04	34.81	8.86	3.16	10.13	9.93
654	10	33.93	33.93	0.00	0.00	32.14	0.82
5359	10	43.47	29.69	5.97	0.00	20.88	10.36
1722	10	45.68	8.64	30.25	0.00	15.43	12.57
8600	10	21.56	36.25	14.50	0.00	27.68	11.55
1742	10	13.33	8.48	63.64	12.12	2.42	19.78
4824	10	22.72	42.40	23.04	0.00	11.84	10.39
2223	10	45.22	12.17	15.65	3.48	23.48	12.11
570	10	24.66	47.95	19.18	0.00	8.22	8.45
1832	10	53.70	5.11	29.48	0.00	11.71	20.59
896	10	45.19	2.09	5.86	0.00	46.86	12.08
1328	343	29.45	8.75	44.61	0.00	17.20	3.66
2964	865	34.68	52.37	2.43	1.73	8.79	1.57
1631	516	45.93	17.44	11.63	0.00	25.00	12.82



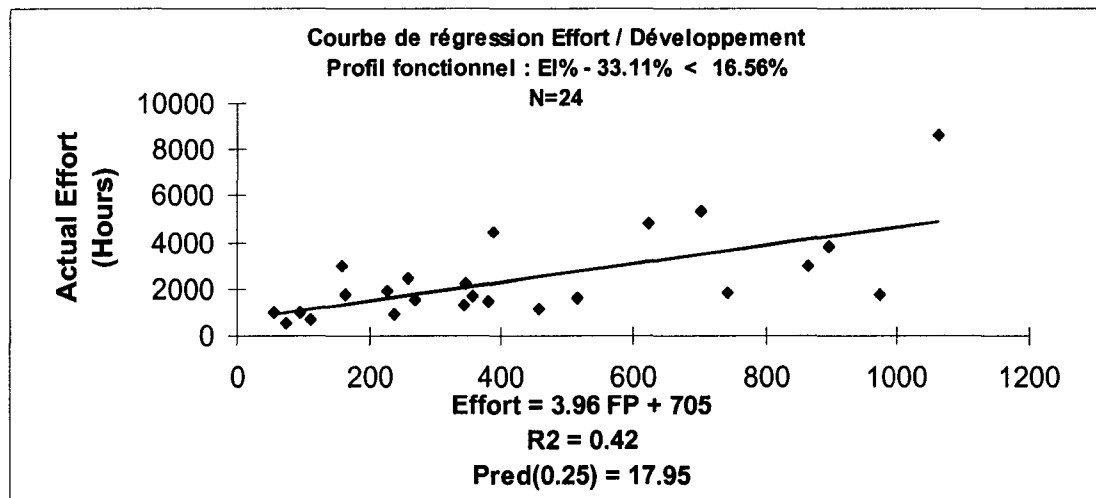


Figure 22 Élimination des "outliers" qui ne répondent pas au profil fonctionnel (EI-33.11% inférieur à 16.56%)

### 5.1.2 Projets de maintenance perfective

L'élimination des "outliers" dans les courbes de régression est montrée par la figure 23 (Annexe 8).

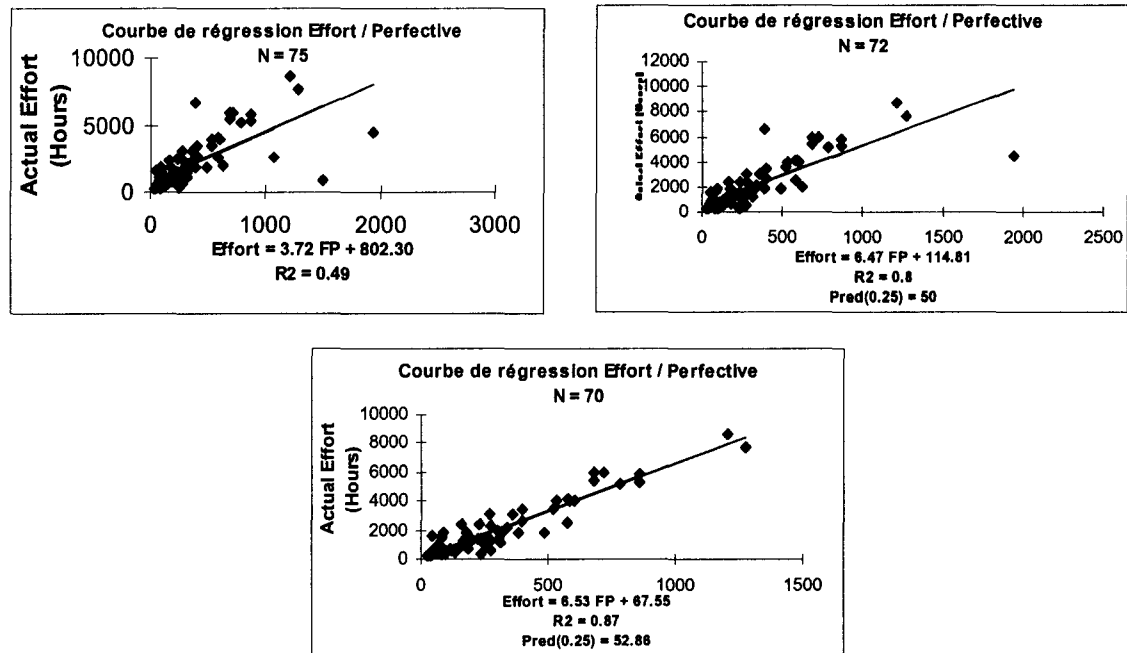


Figure 23 Élimination des "outliers" des projets de maintenance perfective sur la courbe de régression

Appliquons la technique de raffinement par identification des profils fonctionnels sur les 70 projets qui restent. On remarque que le type EI donne une moyenne de 35.03%, la plus grande moyenne pour les cinq types de fonctions; le type EI sera donc choisi comme critère d'élimination le plus significatif.

En filtrant les projets ayant l'écart EI-35.03% inférieur à 17.52%, nous obtenons les 40 projets montrés par le tableau XXVIII et dont la courbe de régression est illustrée par la figure 24.

Tableau XXVIII

Projets de maintenance perfective (40 projets) de l'effort  
en fonction des PF après élimination des 30 projets qui sont hors profil fonctionnel  
(EI-35.03% inférieur à 17.52%)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EI - 35.03
1280	1280	24.24	13.33	17.58	20.61	24.24	10.79
502	502	33.08	13.53	26.32	7.52	19.55	1.95
5927	5927	41.36	30.36	17.83	6.96	3.48	6.33
380	380	32.73	12.73	18.18	36.36	0.00	2.30
3050	3050	34.69	29.89	11.07	0.00	24.35	0.34
2408	2408	49.13	8.70	27.39	3.04	11.74	14.10
4115	4115	19.62	62.50	3.65	0.00	14.24	15.41
1066	1066	39.27	19.84	19.84	0.00	21.05	4.24
655	655	33.33	21.57	27.45	0.00	17.65	1.70
669	669	37.21	29.07	0.00	0.00	33.72	2.18
718	718	26.32	28.95	0.00	0.00	44.74	8.71
437	437	18.00	10.00	14.00	0.00	58.00	17.03
7649	7649	44.54	23.88	7.86	0.00	23.72	9.51
892	892	18.75	56.25	0.00	15.63	9.38	16.28
1584	1584	32.14	44.05	0.00	11.90	11.90	2.89
5927	5927	43.61	32.01	2.06	0.00	22.32	8.58
5456	5456	46.61	17.11	7.67	0.00	28.61	11.58
4009	4009	31.64	29.38	14.31	0.94	23.73	3.39
2663	2663	41.25	20.50	19.25	1.75	17.25	6.22
1693	1693	48.89	20.95	0.00	0.00	30.16	13.86
583	583	37.21	38.76	5.43	0.00	18.60	2.18
1159	1159	45.57	18.99	3.16	0.00	32.28	10.54
1413	1413	27.05	11.07	5.74	0.00	56.15	7.98
630	630	33.33	33.33	0.00	0.00	33.33	1.70
2037	2037	28.83	21.32	18.62	5.11	26.13	6.20
1425	1425	47.76	20.90	10.95	2.49	17.91	12.73
3088	3088	33.61	45.10	8.68	1.40	11.20	1.42
464	464	25.53	31.91	29.79	0.00	12.77	9.50
1431	1431	22.22	40.52	9.15	0.00	28.10	12.81
1428	1428	49.78	17.94	15.70	0.00	16.59	14.75
2172	2172	34.71	22.94	8.24	2.94	31.18	0.32
1252	1252	26.14	24.62	2.65	0.00	46.59	8.89
676	676	35.66	11.19	19.58	0.00	33.57	0.63
1860	1860	37.69	19.00	24.61	3.74	14.95	2.66
8656	8656	22.76	28.31	20.61	3.89	24.42	12.27
5249	5249	37.70	22.39	17.87	4.41	17.63	2.67
3504	3504	47.40	15.61	7.51	0.00	29.48	12.37
4068	4068	30.38	18.94	19.80	10.58	20.31	4.65
698	698	26.19	5.95	23.81	22.62	21.43	8.84
1304	274	41.61	22.99	22.63	1.82	10.95	6.58

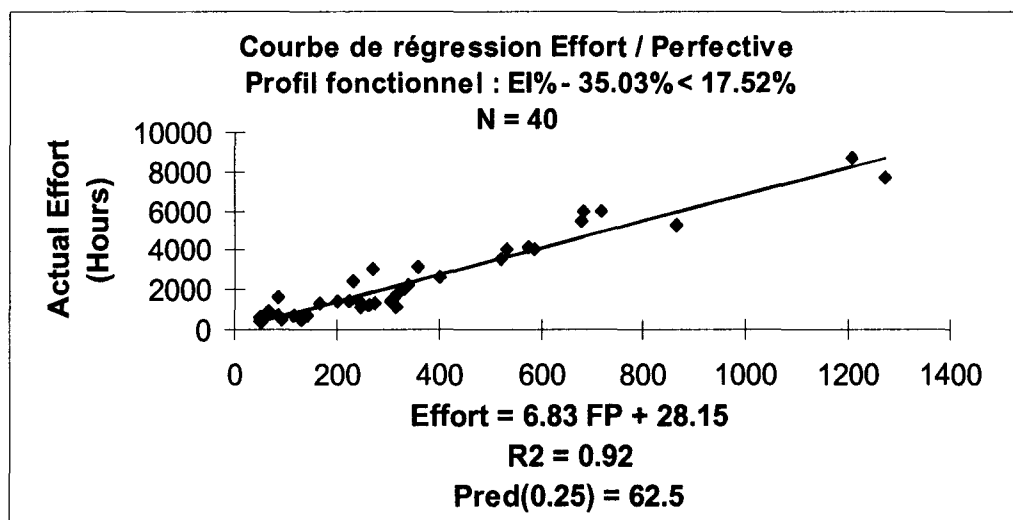


Figure 24 Élimination des "outliers" par identification du profil fonctionnel (EI%- 35.03% inférieur à 17.52%)

### 5.1.3 Comparaison des projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective

Tableau XXIX

Comparaison des projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective (Effort en fonction des PF)

Effort	Development					Perfective		
N	52	51	45	24	75	72	70	40
R2	0.97	0.43	0.59	0.42	0.49	0.8	0.87	0.92
EQUATION	7.79 FP - 717.52	6.16 FP + 5.98	5.33 FP + 312	3.96 FP + 705	3.72 F P+ 802.30	6.47 FP + 114.81	6.53 FP + 67.66	6.83 FP + 28.15
MMRE	1.6	1.41	0.59	0.5	0.81	0.46	0.44	0.26
RMS	2545	2501.33	1536.68	1391.34	1350.93	833.88	650.37	557.05
RRMS	0.51	0.89	0.61	0.58	0.64	0.39	0.32	0.24
PRED(0.25)	12.9	12.9	12.05	17.95	26.67	50	52.86	62.5

Le tableau XXIX montre qu'après avoir éliminé quelques "outliers" en appliquant les techniques d'élimination au niveau des courbes de régression et par identification des profils fonctionnels pour les deux types de projets développement (figure 25) et maintenance (figure 26) perfective, la qualité des modèles de régression est meilleure.

On remarque que l'effort des projets de maintenance perfective dépend plus de la taille fonctionnelle que les projets de développement.

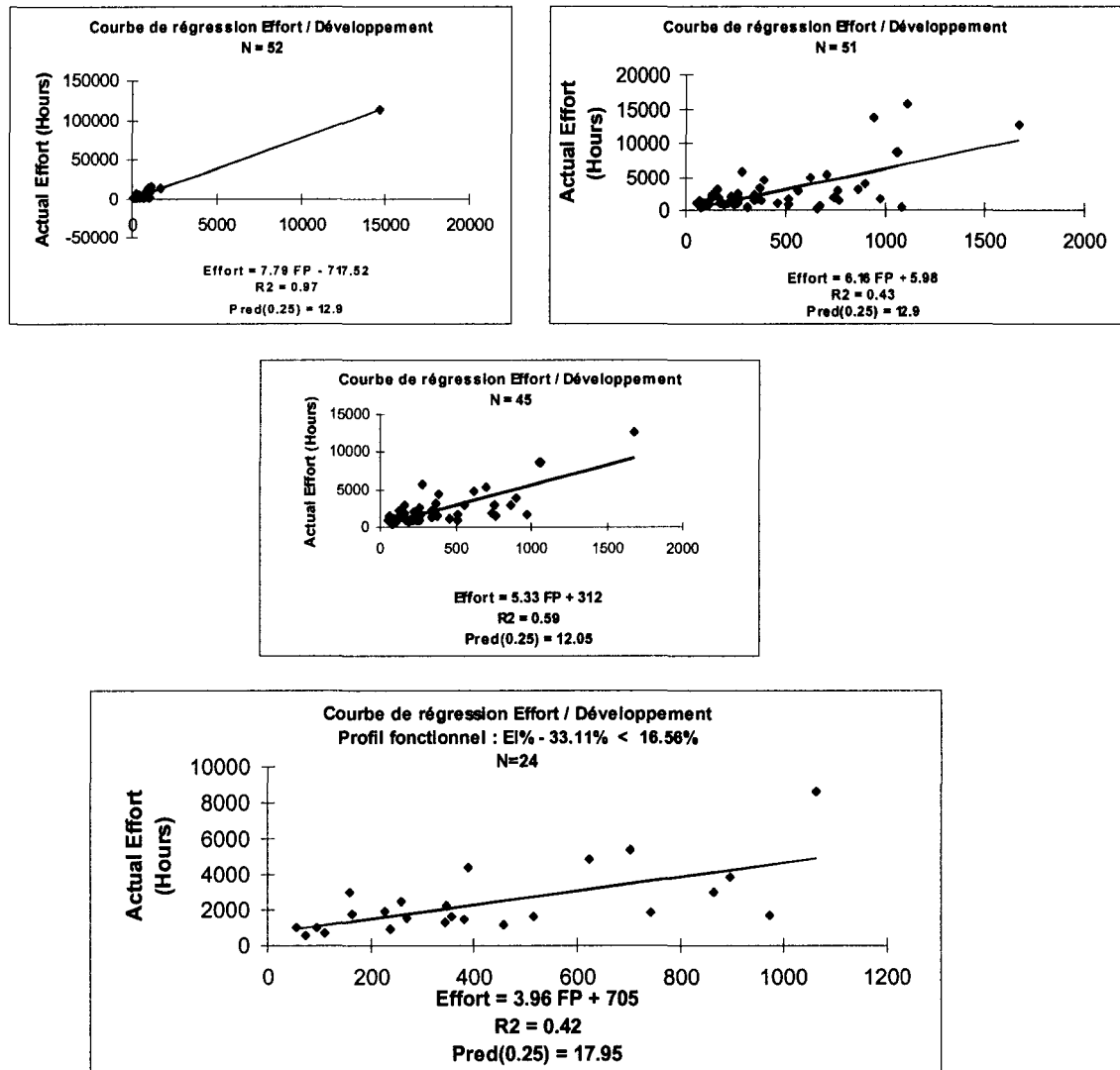


Figure 25 Raffinement des projets de développement

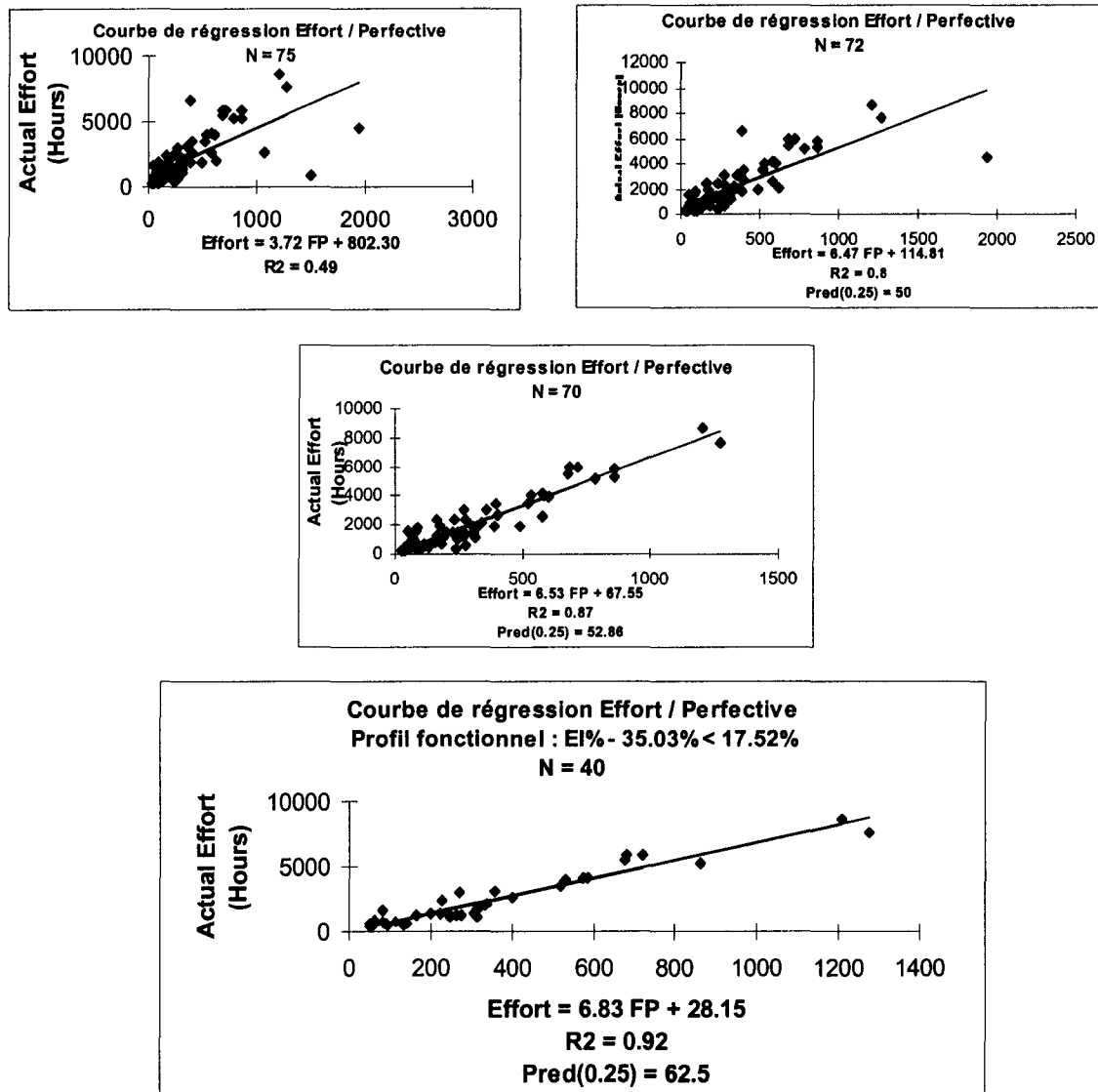


Figure 26 Raffinement des projets de maintenance perfective

Il est à remarquer également que les projets de maintenance perfective nécessitent légèrement plus d'effort que les projets de développement. En comparant ces résultats avec ceux de chaque client séparément, on remarque que la qualité de prédiction de l'équation de l'effort/développement est moins bonne que toutes les autres. Par contre, si on se fie à ces résultats, plus ou moins trompeurs, on risque de conclure, à tort, que l'effort, dans les projets de développement, ne dépend pas du tout des points de fonction; d'où l'inconvénient de conclure à partir de résultats basés sur un regroupement de données appartenant à des organisations différentes.

Tableau XXX

Comparaison des projets de développement  
par rapport aux projets de maintenance perfective

**Effort / Developpement**

N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
24	0.42	3.96FP+70	0.5	1391.34	0.58	17.95

**Effort / Perfective**

N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
40	0.92	6.83FP+28	0.26	557.05	0.24	62.5

## 5.2 Comparaison des projets du Client 1 par rapport aux projets du client 2

Tableau XXXI

Comparaison des projets de l'Effort / Client1 par rapport à ceux de l'Effort / Client2

Effort		Client 1	Client 2			
N	16	14	116	115	108	82
R2	0.55	0.5	0.96	0.52	0.75	0.
EQUATION	8.21FP+254.74	2.50 FP + 1082	7.62FP-485.94	4.98FP+523.26	6.23FP+190.5	6.3
MMRE	1.08	0.4	0.7	0.7	0.48	0.
RMS	2035.08	558.93	1986.8	1723.99	993.19	10
RRMS	0.91	0.36	0.58	0.7	0.44	0.
PRED(0.25)	0	57.14	38.79	33.04	44.44	46

Les résultats du client 1 montrent qu'après avoir éliminé deux projets "outliers", comme le montrent les deux figures 27 et 28, le modèle de régression indique une dépendance moyenne de l'effort en fonction de la taille fonctionnelle avec un  $R^2$  de seulement 0.50 et un coefficient de prédiction  $PRED(0.25) = 57.14\%$  (Annexes 2 et 3).

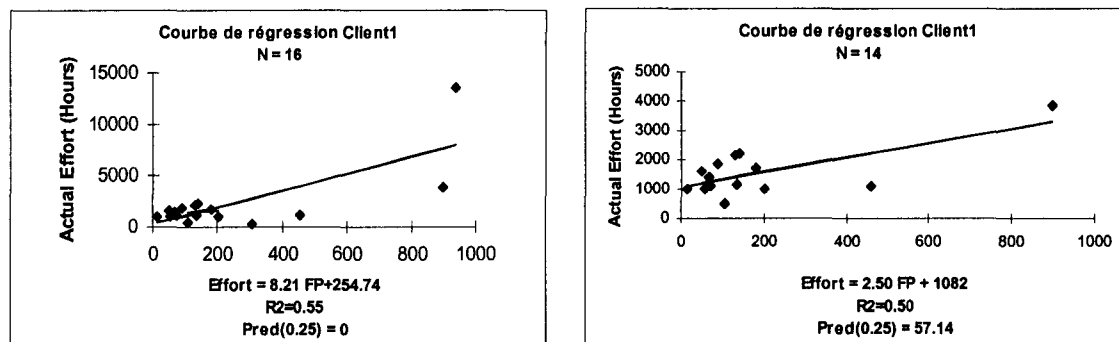


Figure 27 Raffinement des projets de la partition Effort / Client1

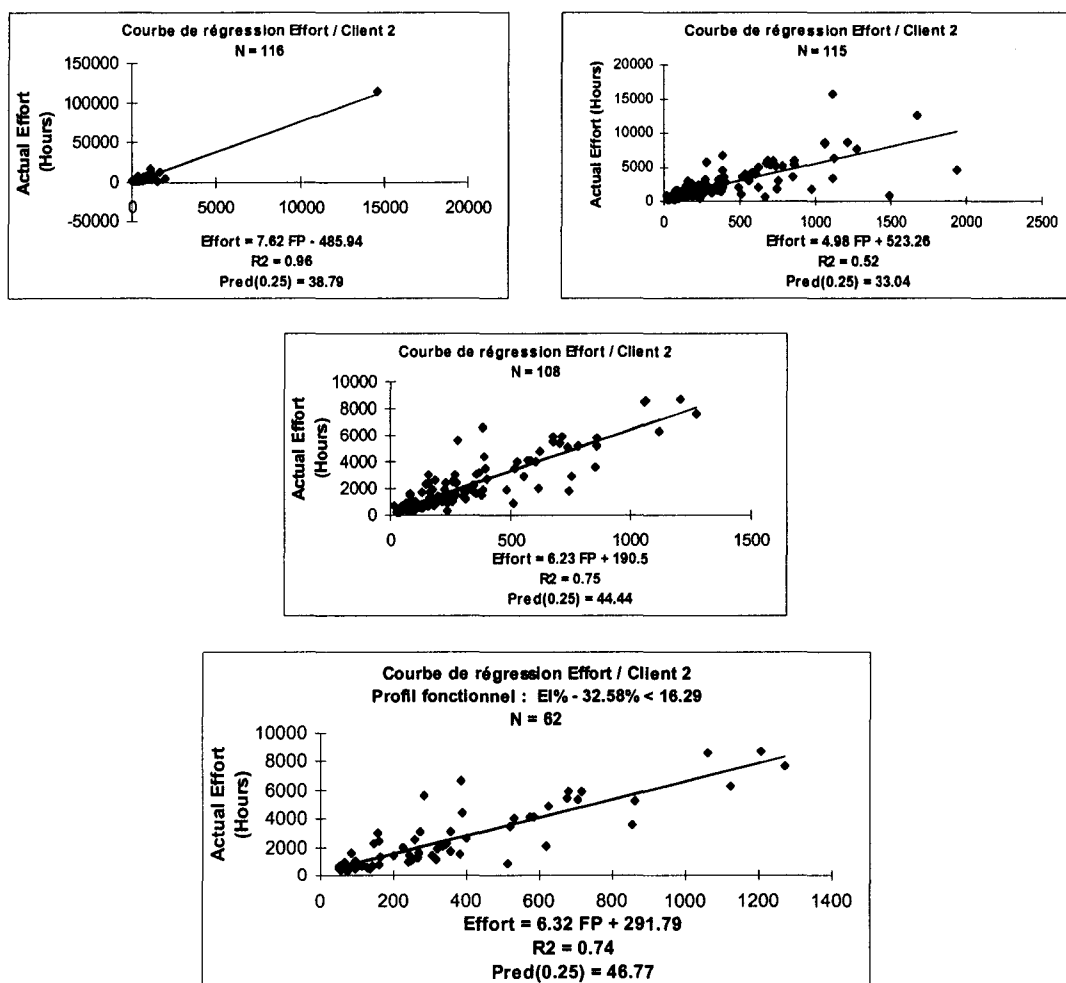


Figure 28 Raffinement des projets de la partition Effort / Client2 sur la courbe de régression.



Par contre, pour le client 2, l'équation de régression montre clairement que cette relation est forte avec un  $R^2$  de 0.75 et avec un coefficient de PRED(0.25) de près de 50%. On note qu'on compare le modèle de seulement 16 projets du client 1 par rapport à un modèle de 116 projets du client 2. Ces résultats peuvent seulement renseigner que les projets du client 2 sont plus dispendieux en heures par points de fonction que ceux du client 1.

Tableau XXXII

Comparaison des projets du client 1 par rapport à ceux du client 2

Effort / Client 1		EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
N	R2					
14	0.5	2.50 FP + 1082	0.41	658.83	0.36	57.14

Effort / Client 2		EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
N	R2					
62	0.74	6.32 FP + 291.79	0.45	1088.25	0.42	46.77

### 5.3 Comparaison des projets de maintenance perfective du Client 1 par rapport aux projets maintenance perfective du client 2

Tableau XXXIII

Comparaison des projets de l'Effort/Perfective/Client 1 par rapport à l'Effort/Perfective/Client 2

Effort / Perfective		Effort/Perfective/Client 1		Effort/Perfective/Client 2	
N	4	67	65	39	
R2	0.09	0.5	0.82	0.82	
EQUATION	-2.98 FP + 1671	3.90 FP + 792.8	6.64 FP + 68.42	6.63 FP + 188.34	
MMRE	0.174	0.82	0.42	0.34	
RMS	289.9	1384.81	815.94	918.07	
RRMS	0.205	0.63	0.37	0.36	
PRED(0.25)	75	29.85	56.92	56.41	

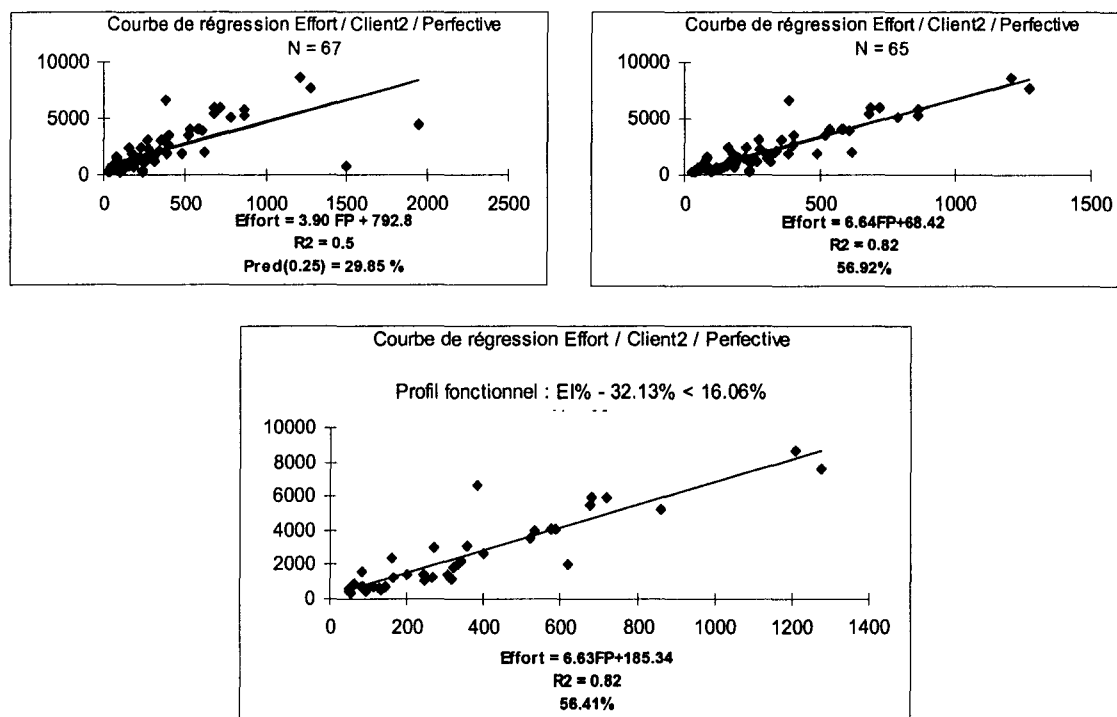


Figure 29 Raffinement des projets de la partition Effort / Client2 / Perfective

Comme il n'y a que 4 projets pour le client 1, les résultats du modèle de régression ne sont pas significatifs. Par contre, avec 67 projets du client 2, cet échantillon est beaucoup plus significatif du point de vue statistique. Avec un  $R^2$  de 0.82 pour 65 projets (excluant 2 outliers) on conclue que l'effort nécessaire pour la maintenance perfective du client 2 dépend fortement de la taille fonctionnelle. On remarque aussi que la technique d'élimination des profils fonctionnels, qui a permis d'éliminer 26 projets ne répondant pas à la condition  $\text{EI}\% - 32.13\% < 16.06\%$  a amélioré presque tous les paramètres de l'équation de régression de l'effort/perfective/client2. Dans les graphes de la figure 29 on remarque qu'après avoir procédé à l'élimination des "outliers" par la technique d'identification des profils fonctionnels, les résultats sont presque les mêmes, ce qui démontre qu'à défaut d'améliorer la qualité des équations, cette technique la sauvegarde au moins (Annexes 2 et 5).

Tableau XXXIV

Comparaison des projets de l'Effort/Perfective/Client 1 par rapport à l'Effort/Perfective/Client 2

Effort / Perfective / Client 1						
N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
4	0.09	2.98FP+167.1	0.174	205.0	0.205	75

Effort / Perfective / Client 2						
N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
39	0.82	6.63FP+185.34	0.34	918.07	0.36	56.41

#### 5.4 Comparaison des projets de développement du Client 1 par rapport aux projets développement du client 2

Tableau XXXV

Comparaison des projets de l'Effort/Développement /Client 1 par rapport à l'Effort/Développement/Perfective/Client 2

Effort / Développement		Effort/Développement/Client 1		Effort/Développement/Client 2			
N	7	N	39	N	38	N	35
R2	0.53	R2	0.98	R2	0.6	R2	0.76
EQUATION	3.8FP+2034.88	EQUATION	7.7FP+368.83	EQUATION	7.16FP+26.39	EQUATION	6.7FP+84.83
MMRE	1.81	MMRE	0.74	MMRE	0.74	MMRE	0.51
RMS	2958.28	RMS	2058.44	RMS	2070.34	RMS	1285.14
RRMS	0.88	RRMS	0.36	RRMS	0.11	RRMS	0.48
PRED(0.25)	0	PRED(0.25)	33.33	PRED(0.25)	28.95	PRED(0.25)	31.43
							40

Dans ce cas aussi on remarque que les résultats des modèles pour le client 2 sont bien meilleurs que ceux pour le client 1 et que l'effort est très dépendant de la taille fonctionnelle mais avec un  $R^2$  plus faible que celui des projets de maintenance (Figures 30 et 31). C'est pour cette raison qu'on procède à un raffinement plus prudent qui consiste à prendre en considération la variable 'date début des travaux' (Annexes 2 et 4).

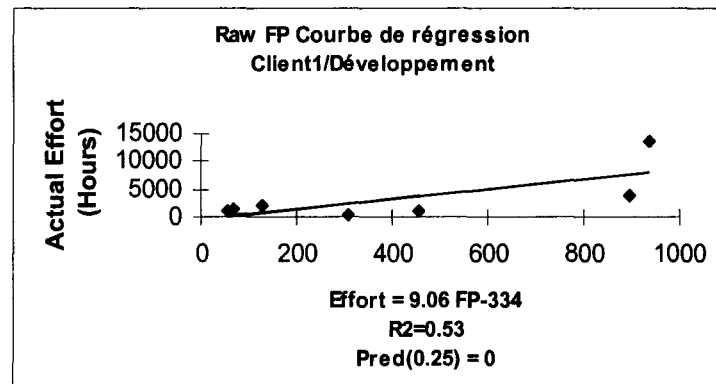


Figure 30 Raffinement des projets de la partition Effort / Client1 / Développement

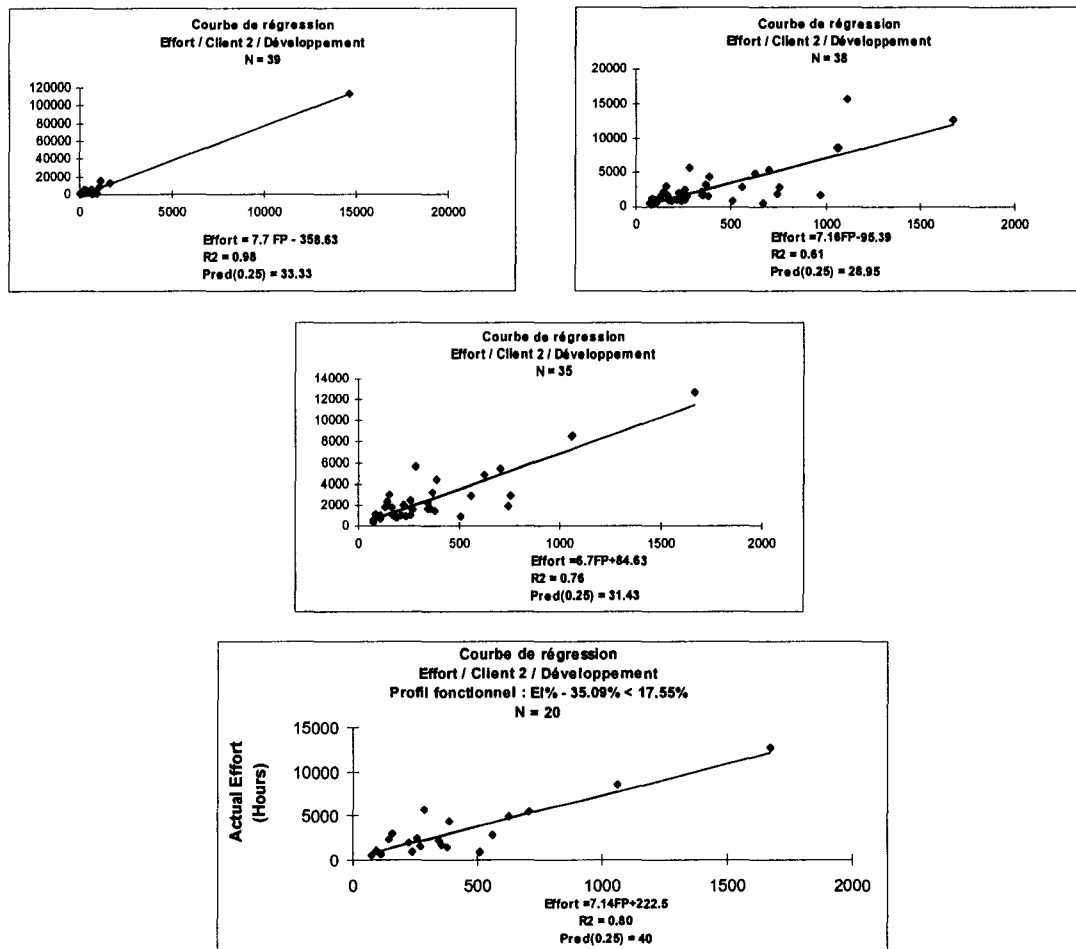


Figure 31 Raffinement des projets de la partition Effort / Client 2 / Développement

Tableau XXXVI

Comparaison des projets de l'Effort/Développement/Client 1 par rapport à l'Effort/Développement/Client 2

Effort / Développement / Client 1						
N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
7	0.63	$3.8FP+2034.88$	1.81	2056.28	0.80	0.3

Effort / Développement / Client 2						
N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
20	0.8	$7.14FP+222.5$	0.53	1308.32	0.4	40

## 5.5 Comparaison des projets de développement du Client 2 par rapport à la date de début de développement

### 5.5.1 Tranche 1994

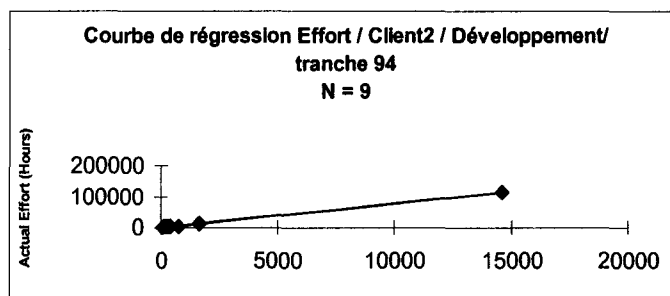


Figure 32 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (9 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1994

Le sous-ensemble correspondant à cette tranche est formé de 9 projets. La variable EI représente en moyenne 42,50% de l'ensemble des types de fonctions caractérisant les points de fonction (Annexe 4).

Tableau XXXVII

Données de l'Effort / Client2 / Développement dont la date de démarrage au courant de 1994 (9 projets)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EQ (%)	EI - 42.50	EI - 42.50
4414	369	39.07	29.05	9.51	0.00	22.37	22.37	3.43	<21.24
3189	17	64.32	18.38	11.35	0.00	5.95	5.95	21.82	
113930	52	32.14	36.00	11.79	0.08	20.00	20.00	10.36	
989	8	38.30	34.04	14.89	5.32	7.45	7.45	4.20	
1737	1	6.77	70.68	7.52	15.04	0.00	0.00	35.73	
12646	1	50.81	23.43	7.59	5.50	12.67	12.67	8.31	
322	1	61.54	7.69	30.77	0.00	0.00	0.00	19.04	
2895	1	68.73	6.46	7.26	0.00	17.55	17.55	26.23	
1940	1	20.80	39.38	13.72	3.10	23.01	23.01	21.70	
<b>Moyenne</b>		<b>42.50</b>	<b>29.46</b>	<b>12.71</b>	<b>3.23</b>	<b>12.11</b>			
<b>50% moyenne</b>		<b>21.2487902</b>	<b>14.72831806</b>	<b>6.355272</b>	<b>1.61307</b>	<b>6.054551613</b>			

Tableau XXXVIII

Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1994 après élimination des projets dont EI-42.50% inférieur à 21.25% (4 projets)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EQ (%)	EI - 42.50
4414	369	39.07	29.05	9.51	0.00	22.37	22.37	3.43
989	8	38.30	34.04	14.89	5.32	7.45	7.45	4.20
12646	1	50.81	23.43	7.59	5.50	12.67	12.67	8.31
322	1	61.54	7.69	30.77	0.00	0.00	0.00	19.04

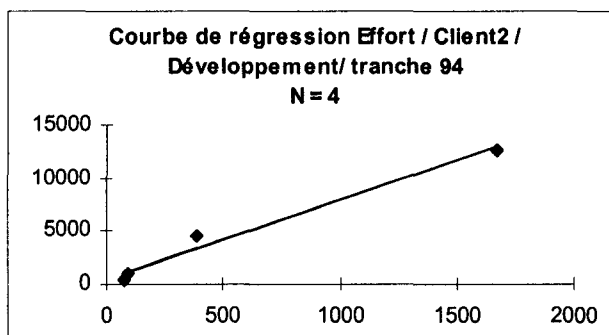


Figure 33 Courbe de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1994 après l'élimination des projets dont EI-42.50% inférieur à 21.25% (4 projets)

Après l'élimination du projet (1139.30, 14627) et de tous les projets dont EI%-42.50% est inférieur à 21.25%, il reste 4 projets qui montrent une très forte relation de l'effort en fonction des points de fonction avec un assez bon facteur de prédiction  $PRED(0.25) = 75\%$ .

Tableau XXXIX

Résultats de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1994

Effort / Client 2/ Développement /1994

9	0.99	7.79FP-89.99	0.34	1145.17	0.07	44.44
4	0.98	7.41FP+752.49	0.65	658.25	0.14	75

### 5.5.2 Tranche 1995

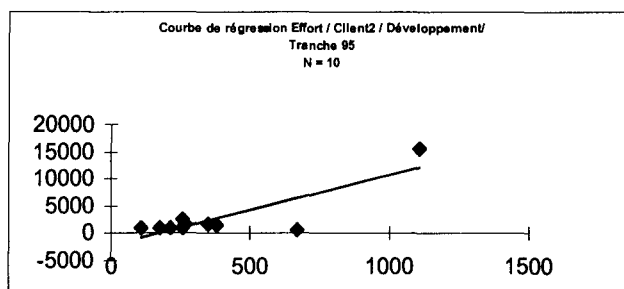


Figure 34 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement (10 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1995

Après élimination des "outliers" : Projets (670,580) et (1111,15673), nous obtenons la courbe de la figure 35 (Annexe 4).

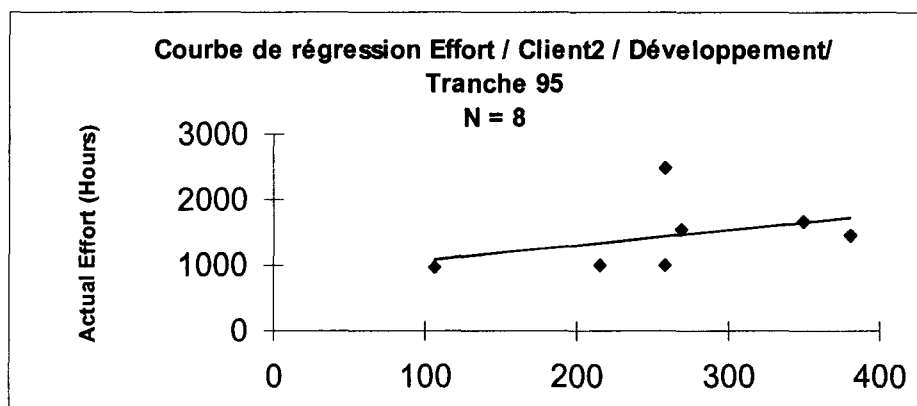


Figure 35 Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1995 après élimination des "outliers" de la courbe de régression (8 projets)



Tableau XL

Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1995 (8 projets)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EO - 32.88	EO - 32.88
928		13,56	61,58	9,60	2,82	12,43	28,70	<16,44
1455		33,68	23,68	19,21	1,32	22,11	9,20	
2480		19,69	37,84	18,92	0,00	23,55	4,96	
1660		11,75	32,95	50,14	0,00	5,16	0,07	
1003		10,23	34,42	40,47	0,00	14,88	1,54	
988		54,26	22,87	0,00	0,00	22,87	10,01	
1557		21,56	30,11	2,60	0,00	45,72	2,77	
980		56,07	19,63	6,54	0,00	17,76	13,25	
<b>Moyenne</b>		27,60	32,88	18,44	0,52	20,56		
<b>50% moyenne</b>		13,800921	16,4424858	9,218	0,259	10,2798883		

Tableau XLI

Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1995 après élimination des projets dont EO%-32.88% inférieur à 16.44% (7 projets)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EO - 32.88	EO - 32.88
1455		33,68	23,68	19,21	1,32	22,11	9,20	
2480		19,69	37,84	18,92	0,00	23,55	4,96	
1660		11,75	32,95	50,14	0,00	5,16	0,07	
1003		10,23	34,42	40,47	0,00	14,88	1,54	
988		54,26	22,87	0,00	0,00	22,87	10,01	
1557		21,56	30,11	2,60	0,00	45,72	2,77	
980		56,07	19,63	6,54	0,00	17,76	13,25	

Après élimination des "outliers" par rapport aux profils fonctionnels dont EO% -32.88% inférieur à 16.44% nous obtenons les améliorations suivantes :

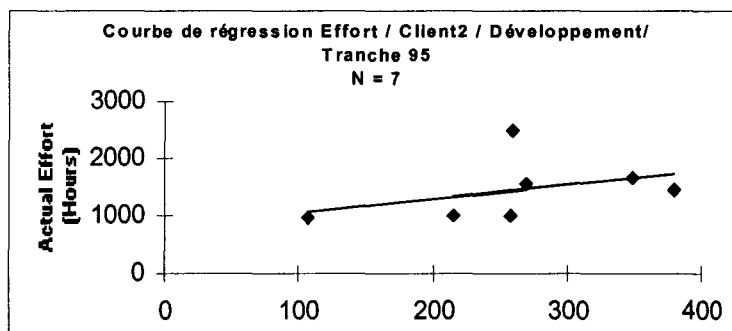


Figure 36 Données de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1994 après élimination des projets EO% -32.88% inférieur à 16.44% (7 projets)

Tableau XLII

Résultats de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1995

Effort / Client 2/ Development /1995

10	0,71	12.90FP-2164.18	1,56	2343,1	0,86	30
8	0,21	2,8 FP+680	0,209	442,3	0,32	0
7	0,15	2,3 FP +830	0,223	460,9	0,319	0

### 5.5.3 Tranche 1996

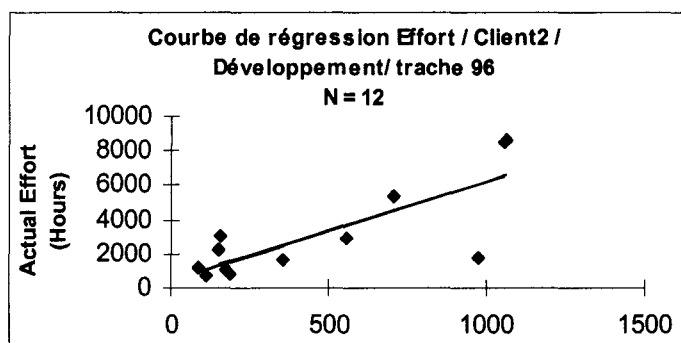


Figure 37 Courbe de régression Effort / Client 2 / Développement. (12 projets) dont l'année de démarrage est 1996

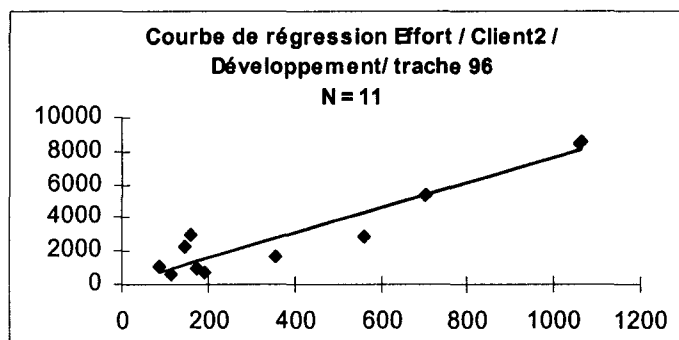


Figure 38 Courbe de régression Effort / Client 2 / Développement dont la date de démarrage est au courant de 1996, après élimination d'un "outlier" (11 projets)

Tableau XLIII

Données de l'Effort / Client 2 / Développement de la période 1996 (11 projets)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EI - 36.05	EI - 36.05
1650		17.98	44.10	8.71	0.00	29.21	18.07	<18.03
995		12.21	63.95	5.81	0.00	18.02	23.84	
1113		62.79	8.14	8.14	0.00	20.93	26.74	
763		60.00	12.11	8.95	0.00	18.95	23.95	
2860		51.88	31.66	5.01	8.59	2.86	15.83	
8509		11.53	20.42	52.46	0.66	14.93	24.52	
2972		43.04	34.81	8.86	3.16	10.13	6.99	
2265		28.57	23.81	14.29	0.00	33.33	7.48	
654		33.93	33.93	0.00	0.00	32.14	2.12	
5359		43.47	29.69	5.97	0.00	20.88	7.42	
1722		45.68	8.64	30.25	0.00	15.43	9.63	
8600		21.56	36.25	14.50	0.00	27.68	14.49	
<b>Moyenne</b>		<b>36.05</b>	<b>28.96</b>	<b>13.58</b>	<b>1.03</b>	<b>20.38</b>		
<b>50% moyenne</b>		<b>18.0263774</b>	<b>14.47954272</b>	<b>6.78897</b>	<b>0.517206</b>	<b>10.18790002</b>		

Tableau XLIV

Données de l'Effort / Client 2 / Développement de la période 1996 après élimination des projets dont EI%-36.05% inférieur à 18.03% (7 projets)

Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EI - 36.05
2860		51.88	31.66	5.01	8.59	2.86	15.83
2972		43.04	34.81	8.86	3.16	10.13	6.99
2265		28.57	23.81	14.29	0.00	33.33	7.48
654		33.93	33.93	0.00	0.00	32.14	2.12
5359		43.47	29.69	5.97	0.00	20.88	7.42
1722		45.68	8.64	30.25	0.00	15.43	9.63
8600		21.56	36.25	14.50	0.00	27.68	14.49

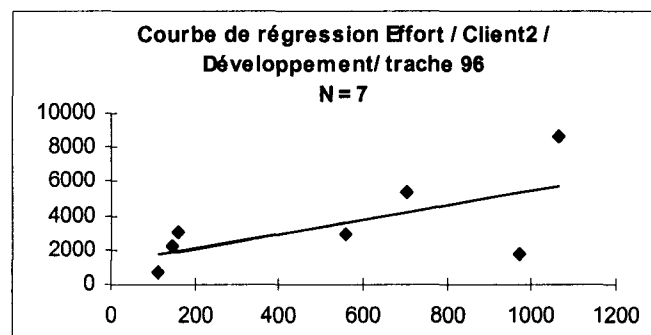


Figure 39 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (7 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1996

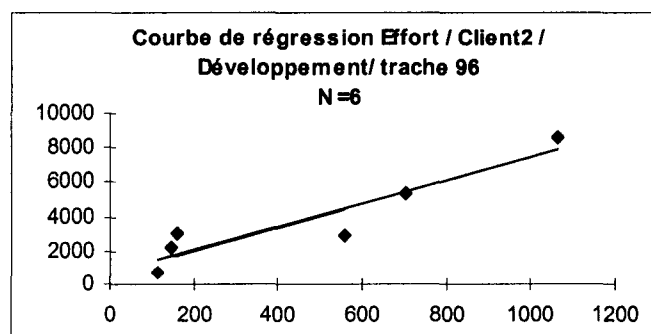


Figure 40 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (6 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1996 et EI-36.05% inférieur à 18.03%

Tableau XLV

## Résultats de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1996

Effort / Client 2/ Développement /1996

12	0.62	5.78FP+434	0.6	1668.06	0.53	33.33
11	0.89	7.51FP+104.27	0.41	891.63	0.274	27.27
7	0.4	4.22FP+1251	0.72	1915	0.55	28.57
6	0.86	6.74FP+704.1	0.42	963.56	0.25	33.33

## 5.5.4 Tranche 1997

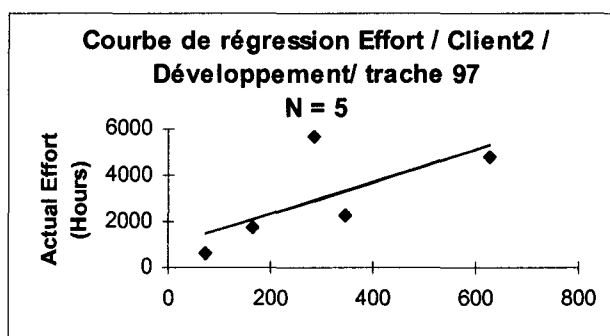


Figure 41 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (5 projets) dont la date de démarrage est au courant de 1997

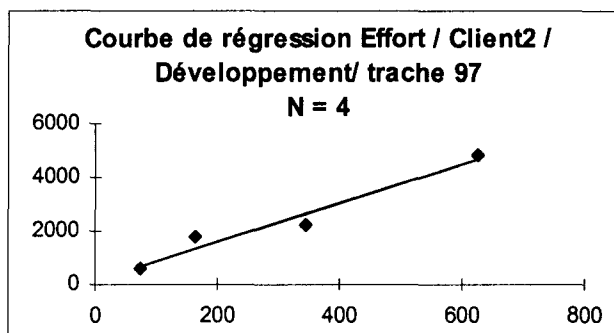


Figure 42 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement dont la date de démarrage est au courant de 1997, après élimination d'un "outlier" (4 projets)

Tableau XLVI

Résultats de l'Effort / Client2 / Développement de la période 1997

Effort / Client 2/ Développement /1997

5	0.47	6.95FP+929	0.56	1403.2	0.47	40
4	0.96	7.24FP+153	0.16	305.09	0.13	100

### 5.5.5 Tranche 1998

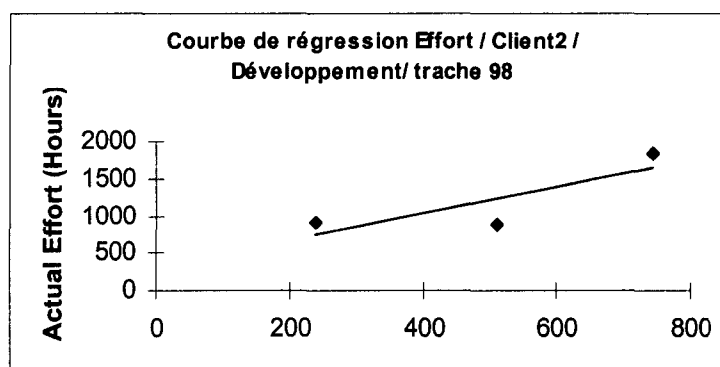


Figure 43 Courbe de régression Effort / Client2 / Développement. (3 projets)

Après élimination des "outliers" dans chaque tranche de dates, sauf pour les deux dernières tranches à cause du nombre réduit de projets disponibles, nous remarquons une amélioration nette des résultats par rapport aux précédents qui considéraient tous les projets de développement du client 2 dans un seul bloc comme le montrent les tableaux XLVII et XLVIII de la partition client 2.

Tableau XLVII

Comparaison des projets de l'Effort /Développement /Client 2 par rapport à la date de début de développement

	Effort/Développement/Client 2			
	39	38	35	20
N	0,98	0,6	0,76	0,8
R2	0,98	0,6	0,76	0,8
EQUATION	7.7FP-358.63	7.16FP-95.39	6.7FP+84.63	7.14FP+222.5
MMRE	0,74	0,74	0,51	0,53
RMS	2056,44	2070,34	1285,14	1308,32
RRMS	0,36	0,11	0,48	0,4
PRED(0.25)	33,33	28,95	31,43	40

Tableau XLVIII

Projets du client 2 par rapport à la date de début de développement

<b>Effort / Client 2/ Développement /1994</b>							
9	0,99	7.79FP-89.99	0,34	1145,2	0,07	44,44	
4	0,98	7.41FP+752.49	0,65	658,25	0,14	75	
<b>Effort / Client 2/ Développement /1995</b>							
10	0,71	12.90FP-2164.18	1,56	2343,1	0,86	30	
8	0,21	2,8 FP+680	0,209	442,3	0,32	0	
7	0,15	2,3 FP +830	0,223	460,9	0,319	0	
<b>Effort / Client 2/ Développement /1996</b>							
12	0,62	5.78FP+434	0,6	1668,1	0,53	33,33	
11	0,89	7.51FP+104.27	0,41	891,63	0,274	27,27	
7	0,4	4.22FP+1251	0,72	1915	0,55	28,57	
6	0,86	6.74FP+704.1	0,42	963,56	0,25	33,33	
<b>Effort / Client 2/ Développement /1997</b>							
5	0,47	6.95FP+929	0,56	1403,2	0,47	40	
4	0,96	7.24FP+153	0,16	305,09	0,13	100	
<b>Effort / Client 2/ Développement /1998</b>							
3	0,7	1.8FP+308	0,22	242,11	0,2	66,67	

Ainsi, nous démontrons la nécessité d'utiliser ces techniques de raffinements si on désire s'approcher d'un meilleur degré de précision des estimés et par conséquent la nécessité de considérer des partitions convenablement choisies.

## **5.6 Comparaison des projets de type inconnu du Client 2 par rapport à tous les projets tous types et tous clients confondus**

En observant les résultats de la figure 44 de tous les projets de l'effort en fonction des points de fonction, on remarque qu'après avoir appliqué les techniques de raffinement, les résultats sont les plus faibles. C'est la seule fois où après avoir éliminé des "outliers" la précision diminue. Elle passe de 33.10 % à 29.17% en éliminant un "outlier" sur la courbe de régression et de 29.17% à 20.51% en éliminant les projets qui ne répondent pas au profil fonctionnel spécifié (Annexe 1).

Par contre, l'observation des résultats de la figure 45 du Client2/Autres obtenus par l'élimination 4 projets qui ne répondent pas à la condition :  $EI\% - 28.03\% < 14.01\%$ , sont les plus forts. En fait cette élimination donne un  $R^2 = 1$  et  $Pred(0.25) = 100\%$  avec seulement un  $N = 4$ , un résultat qui n'est pas significatif du point de vue statistique. Donc, malgré qu'il s'agisse d'un groupe de projets dont le type n'est même pas identifié, les résultats de cette partition sont plus précis que ceux des équations qui regroupent tous les projets avec tous les types de projets et clients confondus.



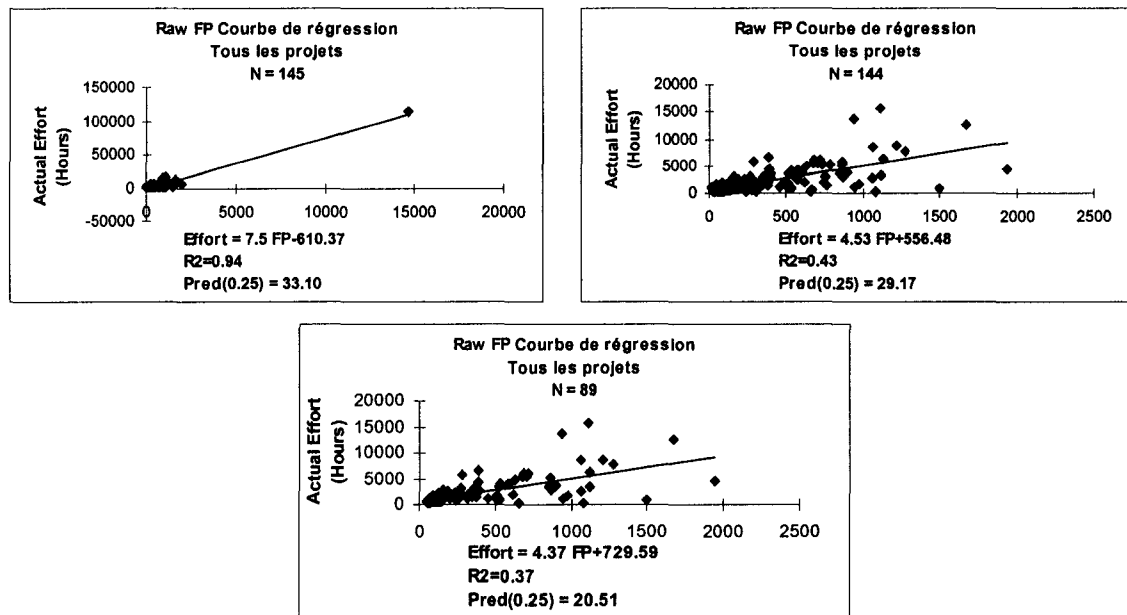
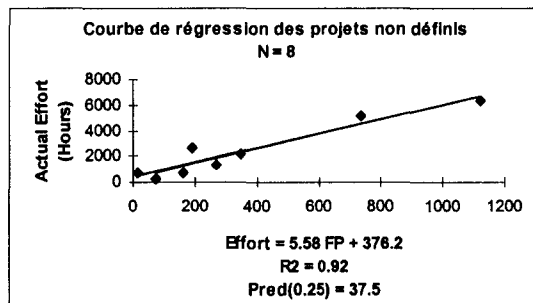
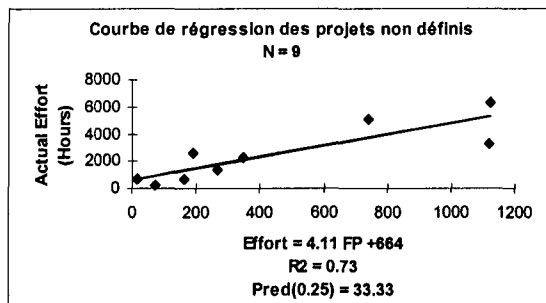


Figure 44 Tous les projets de l'effort (Annexe 1)



Actual Effort (Hours)	Raw FP	EI (%)	EO (%)	ILF (%)	EIF (%)	EQ (%)	EI - 28.03	EI - 28.03
2591		49.47	9.04	0.00	0.00	41.49	21.44	<=14.01
5094		3.25	84.96	9.49	0.00	2.30	24.78	
726		0.00	43.75	0.00	0.00	56.25	28.03	
6307		33.60	11.14	33.78	5.53	15.95	5.57	
1318		26.69	21.05	10.15	0.00	42.11	1.34	
254		25.35	25.35	49.30	0.00	0.00	2.68	
718		30.19	42.77	0.00	0.00	27.04	2.16	
2203		55.65	24.64	8.70	0.00	11.01	27.62	
<b>Moyenne</b>		28.03	32.84	13.93	0.69	24.52		
<b>50% moyenne</b>		14.01284536	16.4189	6.962866	0.345365	12.26002		

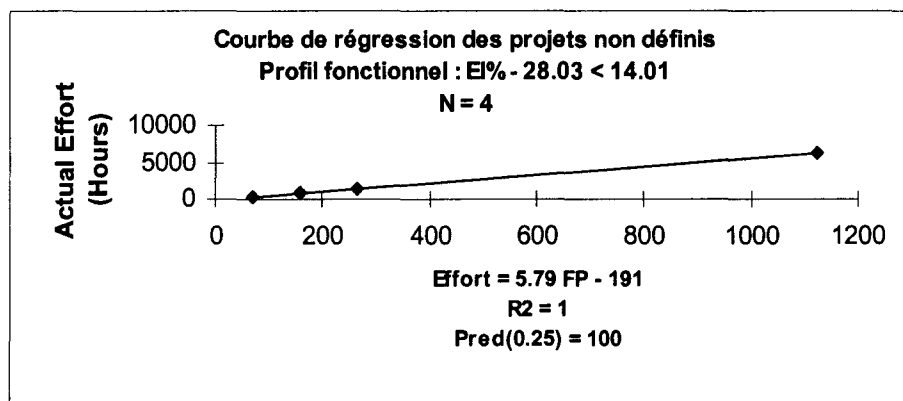


Figure 45 Projets du client 2 / Autres (type indéfini) (Annexe 6)

## 5.7 Comparaison des projets de maintenance perfective du Client 2 par rapport à la date de début de maintenance

Tableau IL

Comparaison des projets de l'Effort /Maintenance perfective /Client 2 par rapport à la date de début de démarrage

Effort / Perfective	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
	75	0.49	3.72FP+802.30	0.81	1350.93	0.84	26.87
	72	0.8	6.47FP+114.61	0.46	633.88	0.39	60
	70	0.87	6.53FP+67.55	0.44	650.37	37	52.86
	40	0.92	6.53FP+26.15	0.26	557.05	0.24	62.5
Effort / Client 2/ Perfective /1994							
Effort / Client 2/ Perfective /1995							
	15	0.15	1.71FP+946.9	1.46	1503.1	1.03	6.87
	14	0.88	6.16FP-232	0.71	675.6	0.38	21.42
	8	0.002	1.6FP+1633.19	1.34	1393.92	0.82	0
	5	0.88	7.61FP+36.61	0.34	610.35	0.27	60
Effort / Client 2/ Perfective /1996							
	22	0.59	3.67FP+857.6	0.7	1357.89	0.56	18.18
	21	0.86	6.35FP+66.46	0.46	787.85	0.34	52.38
	20	0.88	6.28FP+165.5	0.31	755.74	0.311	55
	17	0.85	6.17FP+135.34	0.32	789.29	0.35	52.94
Effort / Client 2/ Perfective /1997							
	21	0.77	6.66FP+207	0.3	984.68	0.36	52.38
	20	0.93	6.65FP+26.2	0.2	496.28	0.19	65
	14	0.94	6.81FP-46.57	0.21	513.42	0.22	64.26
Effort / Client 2/ Perfective /1998							
	6	0.85	5.92FP+98.24	0.19	514.71	0.26	83.33
	5	0.99	6.80FP+14.73	0.08	96.6	0.05	100

On remarque l'amélioration des résultats que nous obtenons en découpant l'échantillon selon la variable indépendante "date de démarrage" d'où l'intérêt d'utiliser la technique de raffinement qui tient compte du facteur temps (Annexe 5).

## 5.8 Intersection des intervalles de profils fonctionnels des projets de maintenance perfective du client 2 (Effort en fonction de PF)

Les résultats suivants sont obtenus en suivant les mêmes étapes expliquées au chapitre 4, et détaillées en Annexe 39. Nous observons une nette amélioration des résultats. L'amélioration de la précision dans les deux types de projets du client 2 est montrée dans le tableau L, elle est de 50% pour les projets de développement et de 66.67%, 85.71% et 100% pour les projets de maintenance perfective.

Tableau L

Résultats de l'intersection des intervalles de l'Effort/Client2/Développement et l'Effort/Client2/Maintenance perfective

### Développement - Client 2 - Intersection des profils

	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
EI / 14-40 / Development	14	0,8	11.09FP-502.16	0,46	1788,24	0,47	35,71
EI / 40-70 / Development	16	0,66	5.77FP-192.19	0,63	1663,63	0,64	25
EO / 5-20 / Development	11	0,14	1.11FP+1127.65	0,72	820,35	0,52	27,27
EO / 30-48 / Development	16	0,71	10.48FP-730.54	0,74	2046,53	0,61	25
EQ / 0-40 / Development	33	0,61	7.2FP-24.72	0,72	2160,62	0,67	36,36
ILF / 0-28 / Development							
Intersection 5-40	8	0,71	7.21FP+914.68	0,42	1297,43	0,37	50

### Maintenance Perfective - Client 2 - Intersection des profils

	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
EI / 30-55 / Perfective	30	0,61	3.8FP+966.64	0,6	1222,82	0,48	40
EO / 8-30 / Perfective	48	0,45	3.61FP+930	0,81	1554	0,66	22,92
EQ / 12-40 / Perfective	38	0,62	4.47FP+783.83	0,51	1347,38	0,51	39,47
ILF / 0-25 / Perfective							
Intersection 12-25	7	96	6.34FP-21.95	0,134	272,29	0,11	85,71
Intersection 8-40	15	0,95	6.98FP-93.80	0,24	457,97	0,18	66,67

## 5.9 L'application de l'équation Effort/Développement à un client particulier n'est pas possible

Prenons l'équation définie par la partition Effort/Développement, représentée par le tableau LI.

Tableau LI

## Résultats de l'Effort/ Développement

	<b>N</b>	<b>R2</b>	<b>EQUATION</b>	<b>MMRE</b>	<b>RMS</b>	<b>RRMS</b>	<b>PRED(0.25)</b>
<b>Effort / Développement</b>	52	0.97	7.79FP-717.52	1.6	2545	0.51	12.9
	51	0.43	6.16FP+5.98	1.41	2501.33	0.89	12.9
	45	0.59	5.33FP+312	0.59	1536.68	0.61	12.05
	24	0.42	3.96FP+705	0.5	1391.34	0.58	17.95

Utilisons l'équation améliorée par les différentes techniques de raffinement obtenue à la quatrième étape, soit :  $\text{Effort} = 3.96 \text{ FP} + 705$ .

Déduisons maintenant l'effort de développement du client 4 comme le montre le tableau LII.

Tableau LII

## Résultats de l'Effort/ Client 4/ Développement

<b>Project</b>	<b>Site Code</b>	<b>Project Type</b>	<b>Raw FP</b>	<b>Actual Effort (Hours)</b>	<b>Effort estimé = 3.96 FP + 705</b>	<b>MRE</b>
136	4	Development	516	1631	<b>2748.36</b>	0.6851
138	4	Development	659	286	<b>3314.64</b>	10.59
139	4	Development	768	1432	<b>3746.28</b>	1.6161

Les résultats montrent que l'application d'une équation globale concernant un type de projets, pour un ensemble de clients ne donnent pas de bons résultats pour un client particulier. La différence est parfois du triple.

Utilisons la même fonction  $\text{Effort} = 3.96 \text{ FP} + 705$  pour déduire l'effort de développement du client 5.

Tableau LIII

## Résultats de l'Effort/ Client 5/ Développement

<i>Project</i>	<i>Site Code</i>	<i>Project Type</i>	<i>Raw FP</i>	<i>Actual Effort (Hours)</i>	<b>Effort estimé = 3.96 FP + 705</b>	<b>MRE</b>
140	5	Development	1079	321	<b>4977.84</b>	14.507

Le résultat est trop éloigné de l'effort réel de développement de ce projet. Prenons l'équation définie dans la partition Effort/Maintenance Perfective telle que présentée dans le tableau LIV.

Tableau LIV

## Résultats de l'Effort/ Maintenance perfective

<b>Effort / Perfective</b>	<b>N</b>	<b>R2</b>	<b>EQUATION</b>	<b>MMRE</b>	<b>RMS</b>	<b>RRMS</b>	<b>PRED(0.25)</b>
75	0.49	3.72	$FP+802.30$	0.81	1350.93	0.64	26.67
72	0.8	6.47	$FP+114.81$	0.46	833.88	0.39	50
70	0.87	6.83	$FP+67.58$	0.44	650.37	37	52.86
40	0.92	6.83	$FP+28.15$	0.26	557.05	0.24	62.5

Utilisons l'équation améliorée par les différentes techniques de raffinement, soit :

Effort = 6.83 FP + 28.15 pour déduire l'effort de maintenance perfective du client 6.

Tableau LV

## Résultats de l'Effort/ Client 6/ Maintenance perfective

<i>Project</i>	<i>Site Code</i>	<i>Project Type</i>	<i>Raw FP</i>	<i>Actual Effort (Hours)</i>	<b>Effort estimé = 6.83FP + 28.15</b>	<b>MRE</b>
141	6	Perfective	274	593	<b>1899.57</b>	2.2033
143	6	Perfective	1062	2634	<b>7281.61</b>	1.7645
142	6	Perfective	84	302	<b>601.87</b>	0.9929

Les résultats montrent l'imprécision qui peut être causée par l'utilisation d'une équation déduite de projets de plusieurs clients.

## CHAPITRE 6

### EXPLICATION DES RÉSULTATS DE LA DURÉE EN FONCTION DES POINTS DE FONCTION

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats de la durée en fonction des points de fonction.

#### 6.1 Explication de la synthèse et application aux cas réels d'estimation

##### 6.1.1 Comparaison des projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective de la durée en fonction des points de fonction

Tableau LVI

Comparaison des projets de développement par rapport aux projets de maintenance perfective (Durée en fonction des PF)

	Durée / Développement			Durée / Perfective	
	N	48	28	75	45
<b>R2</b>	0.55	0.27	0.22	0.22	0.36
<b>EQUATION</b>	.055FP+172.99	0.155FP+128.78	0.145FP+157.16	0.152FP+136.48	0.18FP+115.86
<b>MMRE</b>	0.55	0.43	0.35	0.54	0.5
<b>RMS</b>	98.26	75.7	80.28	100.18	96.53
<b>RRMS</b>	0.46	0.39	0.37	0.53	0.5
<b>PRED(0.25)</b>	46.15	47.92	50	34.66	42.22

On remarque que la dépendance de la durée en fonction des points de fonction est faible dans les deux types de projets, ce qui est normal vu que les projets du client 1 et du client 2 sont considérés (Annexes 22 et 23).

**6.1.2 Comparaison des projets de développement du client 1 par rapport aux projets de développement du client 2 de la durée en fonction des points de fonction**

Tableau LVII

Comparaison des projets de la Durée/Développement /Client 1 par rapport à la Durée/Développement/Perfective/Client 2

**Durée / Développement**

	Durée / Développement / Client 1	Durée / Développement / Client 2	
<b>N</b>	7	38	22
<b>R2</b>	0.62	0.28	0.2
<b>EQUATION</b>	0.38FP+87.60	0.13FP+134.122	0.10FP+171.5
<b>MMRE</b>	0.75	0.41	0.36
<b>RMS</b>	103.12	75.01	81.64
<b>RRMS</b>	0.43	0.4	0.37
<b>PRED(0.25)</b>	14.28	42.1	45.45

La dépendance de la durée en fonction des points de fonction des projets de développement du client 2 est plus faible que celle du client 1 dont le nombre de projets est de 7 seulement. D'où la non signification de cette comparaison (Annexes 17 et 19).



**6.1.3 Comparaison des projets de maintenance perfective du client 1 par rapport aux projets de maintenance perfective du client 2 de la durée en fonction des points de fonction**

Tableau LVIII

Comparaison des projets de la Durée/Perfective/Client 1 par rapport à la Durée/Perfective/Client 2

**Durée / Perfective**

	Durée / Perfective / Client 1	Durée / Perfective / Client 2	
<b>N</b>	4	67	41
<b>R2</b>	0.85	0.3	0.36
<b>EQUATION</b>	4.16FP-15.3	0.18FP+119.2	0.18FP+121
<b>MMRE</b>	0.16	0.5	0.5
<b>RMS</b>	54.85	96.62	98.91
<b>RRMS</b>	0.16	0.53	0.5
<b>PRED(0.25)</b>	75	41.79	41.46

La dépendance de la durée des projets de maintenance perfective en fonction des points de fonction du client 2 est plus faible que celle du client 1 qui ne compte que 4 projets seulement. Cette comparaison n'est pas significative (Annexes 17 et 20).

#### 6.1.4 Comparaison des projets du client 1 par rapport aux projets du client 2 de la durée en fonction des points de fonction

Tableau LIX

Comparaison des projets de la Durée / Client1  
par rapport à ceux de la Durée / Client2

Durée		Durée / Client 1		Durée / Client 2	
N	16	15	10	115	70
R2	0.25	0.3	0.69	0.25	0.31
EQUATION	.27FP+174.08	.28FP+185.23	035FP+124.11	0.16FP+131.97	0.17FP+132.55
MMRE	0.6	0.38	0.25	0.5	0.47
RMS	130.59	122.51	75.11	99.46	98.4
RRMS	0.55	0.49	0.32	0.51	0.48
PRED(0.25)	31.25	33.33	50	42.61	41.43

Ce tableau nous conduit à conclure que la durée des projets, tous types confondus, est presque indépendante des points de fonction (Annexes 17 et 18).

### 6.1.5 Comparaison des projets de développement du Client 2 par rapport à la « date de début » de développement de la durée en fonction des points de fonction

Tableau LX

Comparaison des projets de la Durée /Développement /Client 2 par rapport à la date de début de développement

Durée	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
Durée / Développement	52	0.55	.055FP+172.99	0.55	98.26	0.46	46.15
	48	0.27	0.155FP+128.78	0.43	75.7	0.39	47.92
	28	0.22	0.145FP+157.16	0.35	80.28	0.37	50
Durée / Client 2/ Développement /1994	9	0.87	0.053FP+167.90	0.5	89.75	0.323	55.55
	8	0.24	0.10FP+145.74	0.52	91.86	0.47	37.5
	7	0.57	0.11FP+112.04	0.36	51.82	0.31	28.57
	3	0.77	0.08FP+127.74	0.24	37.08	0.19	66.67
Durée / Client 2/ Développement /1995	10	0.71	0.277FP+69.07	0.36	50.08	0.28	50
	9	0.72	0.256FP+85	0.27	46.47	0.247	44.44
	3	0.87	0.27FP+99.18	0.18	38	0.15	66.67
Durée / Client 2/ Développement /1996	12	0.21	0.1FP+157.50	0.35	72.88	0.36	41.67
	7	0.98	0.06FP+219.6	0.29	74	0.3	42.86
Durée / Client 2/ Développement /1997	5	0.35	.202FP+148.4	0.18	51.55	0.25	60
Durée / Client 2/ Développement /1998	3	0.49	0.187FP+90.40	0.28	34.57	0.24	66.67
	Pas suffisamment de projets						

Selon le découpage par rapport à la date de démarrage des projets de développement, il apparaît encore une fois une amélioration par rapport aux résultats où le partitionnement de données n'a pas été considéré. Ceci reflète l'importance de la variable 'date de démarrage' à la sensibilité des équations de régression, mais il en demeure que ces résultats ne démontrent pas une dépendance réelle de la durée en fonction des points de fonction. Néanmoins, du point de vue des techniques de raffinement utilisées, nous sommes certains de leur efficacité (Annexe 19).

### 6.1.6 Comparaison des projets de maintenance perfective du Client 2 par rapport à la date de début de maintenance de la durée en fonction des points de fonction

Tableau LXI

Comparaison des projets de la Durée /Maintenance /Client 2 par rapport à la date de début des travaux de maintenance

<b>Durée</b>	<b>N</b>	<b>R2</b>	<b>EQUATION</b>	<b>MMRE</b>	<b>RMS</b>	<b>RRMS</b>	<b>PRED(0.25)</b>
<b>Durée / Perfective</b>	75	0.22	0.152FP+136.48	0.54	100.18	0.53	34.66
	45	0.36	0.18FP+115.86	0.5	96.53	0.5	42.22
<b>Durée / Client 2/ Perfective /1994</b>	3	0.84	1.84FP-10.99	0.35	55.63	0.22	33.33
<b>Durée / Client 2/ Perfective /1995</b>	15	0.85	0.348FP+77.78	0.31	54.8	0.3	66.67
	6	0.96	0.32FP+70.2	0.31	34.15	0.16	83.33
<b>Durée / Client 2/ Perfective /1996</b>	22	0.25	0.115FP+120.5	0.52	90.04	0.53	27.27
	17	0.26	0.12FP+136	0.55	94.52	0.51	23.53
<b>Durée / Client 2/ Perfective /1997</b>	21	0.26	0.22FP+111	0.55	99.09	0.52	42.86
	14	0.24	0.19FP+109	0.63	100.97	0.56	42.86
<b>Durée / Client 2/ Perfective /1998</b>	6	0.0002	.0027FP+173.13	0.21	39.07	0.22	50

L'amélioration des équations est encore une fois assurée par l'application de ce découpage mais ce tableau montre qu'il n'y a aucune dépendance de la durée en fonction des points de fonction (Annexe 20).

### 6.1.7 Intersection des intervalles de profils fonctionnels des projets de maintenance perfective et des projets de développement du client 2 de la durée en fonction des points de fonction

Tableau LXII

Résultats de l'intersection des intervalles de la Durée/Client2/Développement et la Durée/Client2/Maintenance perfective

#### DURÉE / CLIENT 2

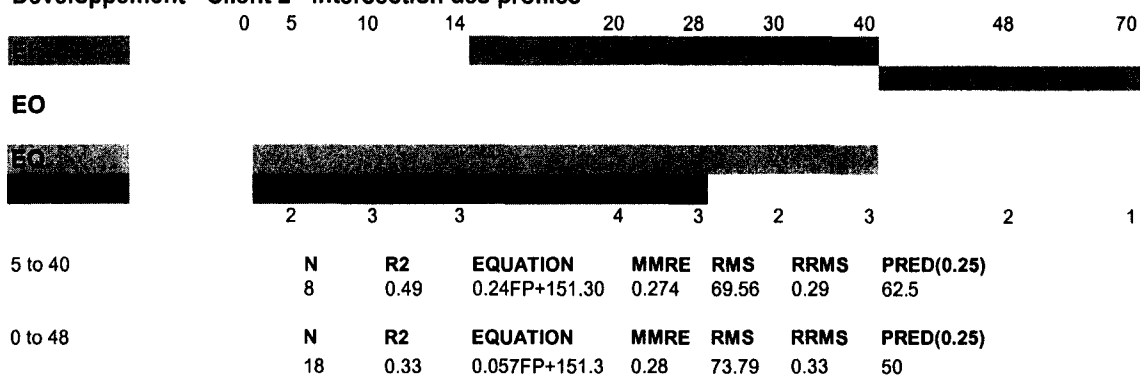
	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
<b>EI / 14-40 / Development</b>	14	0.47	0.21FP+149.97	0.29	70.78	0.31	57.14
<b>EI / 40-70 / Development</b>	16	0.33	0.11FP+114.59	0.36	65.01	0.38	50
<b>EI / 30-55 / Perfective</b>	30	0.33	0.17FP+120.92	0.58	97.67	0.51	40
<b>EO / 5-20 / Development</b>	11	0.21	0.10FP+125.66	0.37	64.64	0.4	54.54
<b>EO / 30-48 / Development</b>	16	0.53	0.21FP+123.19	0.27	60.32	0.29	75
<b>EO / 8-40 / Perfective</b>	48	0.36	0.19FP+115	0.49	99	0.51	43.75
<b>EQ / 0-40 / Development</b>	33	0.26	0.12FP+150.45	0.38	74.44	0.36	48.48
<b>EQ / 12-40 / Perfective</b>	38	20	0.13FP+129.85	0.57	101.49	0.55	39.47
<b>ILF / 0-28 / Development</b>							
<b>ILF / 0-25 / Perfective</b>							

En considérant la durée en fonction de la taille fonctionnelle, l'intersection des profils nous donne les deux intervalles 5%-40% ou 0%-48% pour les projets de développement du client 2, comme le montre le tableau LXII (Annexe 30).

Tableau LXIII

Détermination des intervalles de l'intersection des projets  
Durée/Client2/Développement

**Développement - Client 2 - intersection des profils**

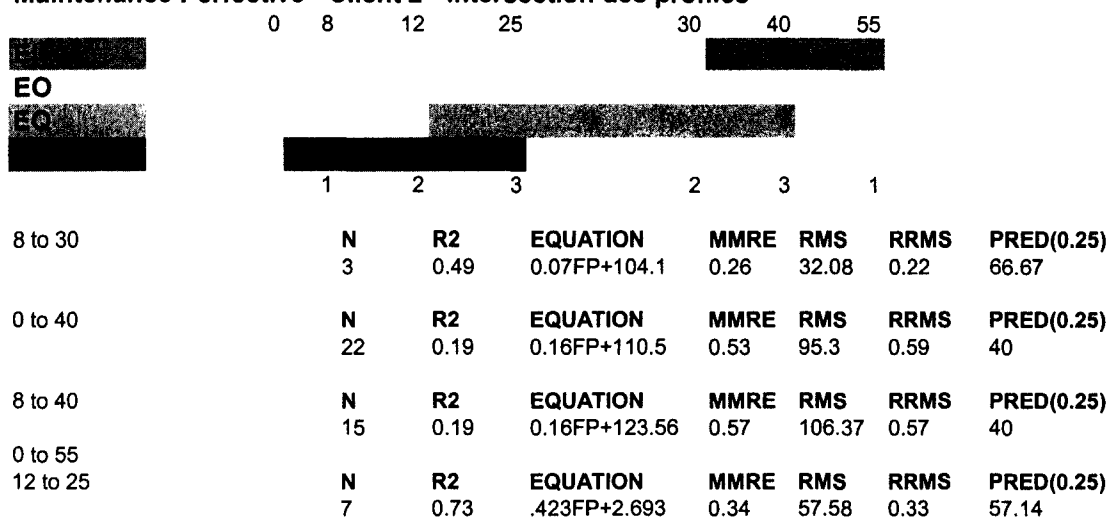


L'intersection des profils donne plusieurs intervalles pour les projets de maintenance perfective, comme le montre le tableau LXIV.

Tableau LXIV

Détermination des intervalles de l'intersection des projets  
Durée/Client2/Maintenance perfective

**Maintenance Perfective - Client 2 - intersection des profils**



Considérons une seule équation par type de projet. L'intervalle 5%-40% est retenu pour la Durée/ Client 2 / Développement, et 8%-30% pour la Durée/ Client 2 / Maintenance perfective comme le montre le tableau LXV.

Tableau LXV

Choix des intervalles de l'intersection des projets Durée/Client2/Développement et Durée/Client2/Maintenance perfective

### DURÉE / CLIENT 2

	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
<b>EI / 14-40 / Development</b>	14	0.47	0.21FP+149.97	0.29	70.78	0.31	57.14
<b>EI / 40-70 / Development</b>	16	0.33	0.11FP+114.59	0.36	65.01	0.38	50
<b>EO / 5-20 / Development</b>	11	0.21	0.10FP+125.66	0.37	64.64	0.4	54.54
<b>EO / 30-48 / Development</b>	16	53	0.21FP+123.19	0.27	60.32	0.29	75
<b>EQ / 0-40 / Development</b>	33	0.26	0.12FP+150.45	0.38	74.44	0.36	48.48
<b>ILF / 0-28 / Development</b>							
<b>intersection 5-40</b>	<b>8</b>	<b>0.49</b>	<b>0.24FP+151.30</b>	<b>0.274</b>	<b>69.56</b>	<b>0.29</b>	<b>62.5</b>
	N	R2	EQUATION	MMRE	RMS	RRMS	PRED(0.25)
<b>EI / 30-55 / Perfective</b>	30	0.33	0.17FP+120.92	0.58	97.67	0.51	40
<b>EO / 8-30 / Perfective</b>	48	36	0.19FP+115	0.49	99	0.51	43.75
<b>EQ / 12-40 / Perfective</b>	38	20	0.13FP+129.85	0.57	101.49	0.55	39.47
<b>ILF / 0-25 / Perfective</b>							
<b>intersection 8-30</b>	<b>3</b>	<b>0.49</b>	<b>0.07FP+104.1</b>	<b>0.26</b>	<b>32.08</b>	<b>0.22</b>	<b>66.67</b>

### Conclusion

Nous confirmons par ces résultats que la technique de l'intersection des profils fonctionnels donne de bons résultats en dépendance  $R^2 = 0.49$  et en précision  $PRED(0.25) = 66.67\%$ , malgré que la dépendance de la durée en fonction des points de fonction fût initialement faible.

## **CHAPITRE 7**

### **EXPLICATION DES RÉSULTATS DE LA DURÉE EN FONCTION DE L'EFFORT**

L'observation des courbes de régression de la figure 46 nous permet de constater la dispersion des points par rapport à la droite de la fonction. Dans ce cas, l'élimination des projets "outliers" s'avère inappropriée car il y en a pas sur les graphes. Cette remarque ne s'applique pas aux résultats du client 1 qui montrent quand même une certaine disponibilité à l'application des techniques de raffinement. Seulement le nombre de projets du client 1 ne représente que 11% de l'ensemble des projets. On conclue que dépendance de la durée en fonction de l'effort est faible (Annexes 31, 32, ...38).



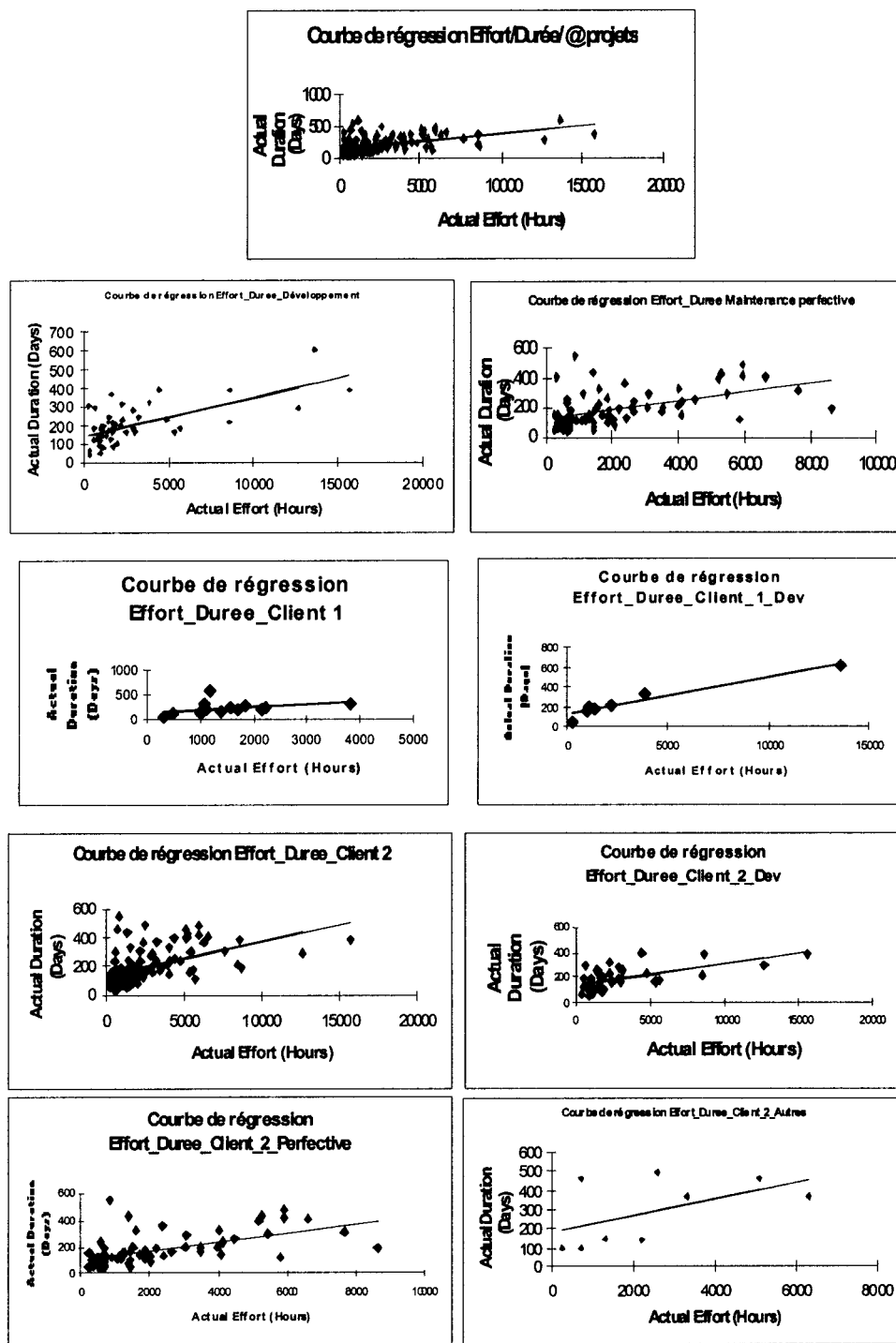


Figure 46 Équations de régression de la durée en fonction de l'effort

## **CHAPITRE 8**

### **ANALYSE DE PRODUCTIVITÉ**

On entend par productivité l'effort, en heures, par point de fonction. Les graphes qui suivront affichent le comportement de la productivité par projet à travers les dates de démarrage des travaux. La courbe du haut représente l'effort en heures par point de fonction et la courbe du bas représente la durée des travaux, en jours, par point de fonction.

On remarque que la durée suit le même comportement que l'effort sauf dans certains cas :

L'effort/PF diminue et la durée/PF diminue, on met moins d'effort et moins de temps,  
L'effort/PF augmente et la durée/PF augmente, on met plus d'effort et plus de temps à réaliser,

L'effort/PF diminue et la durée/PF augmente, on met moins d'effort mais plus de temps dans le développement ou de la maintenance du logiciel,

L'effort/PF augmente et la durée/PF diminue, on met plus d'effort avec de plus courtes durées pour réaliser les projets.

L'interprétation du comportement de ces deux variables pourrait se faire en industrie en ayant plus d'informations sur les projets et ainsi, les résultats peuvent se transformer en indicateurs pour les organisations sur le comportement anormal d'un projet par rapport à d'autres d'un même type.

## 8.1 Productivité du client 1

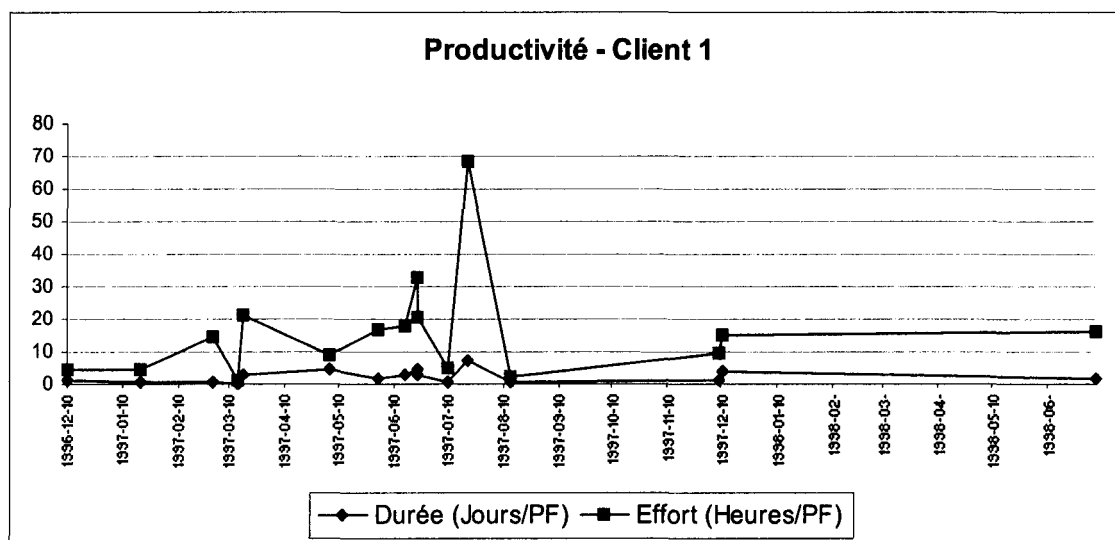


Figure 47 Productivité du client 1

### 8.1.1 Productivité du client 1 : projets de développement

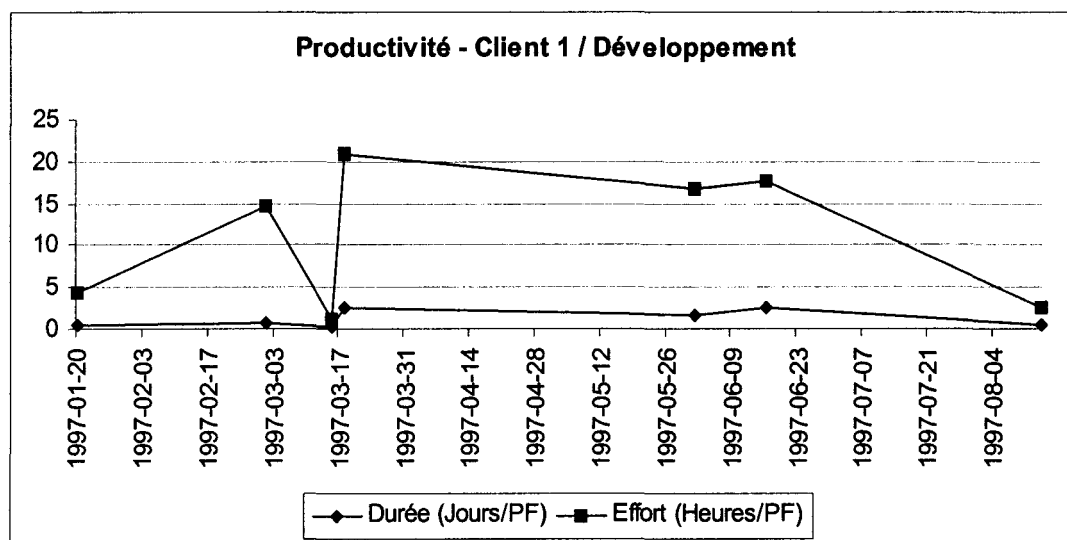


Figure 48 Productivité du client 1 : projets de développement

### 8.1.2 Productivité du client 1, projets de maintenance perfective

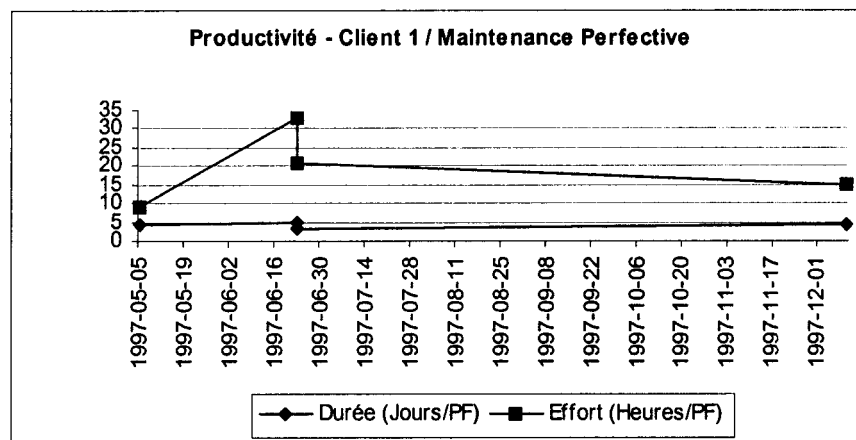


Figure 49 Productivité du client 1 : projets de maintenance perfective

## 8.2 Productivité du client 2

### 8.2.1 Productivité du client 2 : projets de développement

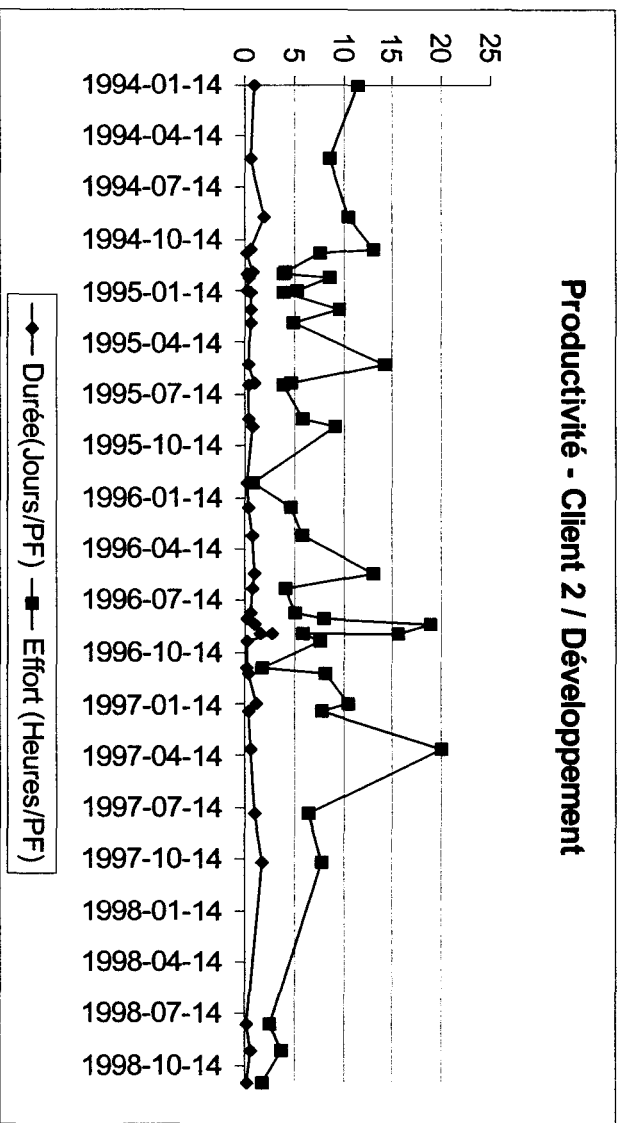


Figure 50 Productivité du client 2 : projet de développement

### 8.2.2 Productivité du client 2 : projets de maintenance perfective

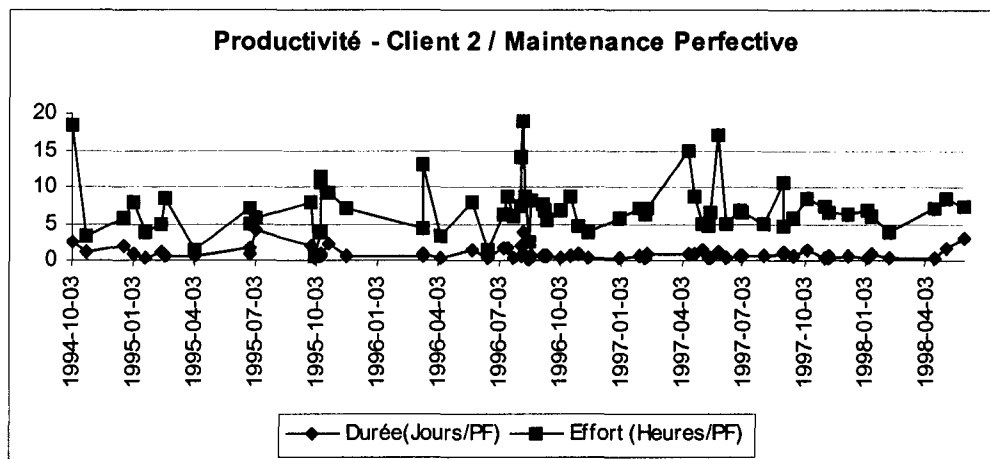


Figure 51 Productivité du client 2 : projet de maintenance perfective

Tableau LXXXVIII

#### Productivité du client 2 : projet de maintenance perfective

	<b>Productivité : Actual Effort (heure)/PF</b>						
	Corrective	Adaptive	Perfective	Preventive	Support usager	Develop.	Total
<b>Client 1</b>	9	8		9		8	9
<b>Client 2</b>		4	6			7	6
<b>Client 3</b>			5			4	4
<b>Client 4</b>	2					2	2
<b>Client 5</b>						0	0
<b>Client 6</b>			2				2

### Conclusion

Les projets de maintenance perfective du client 1 de 17 heures par point de fonction sont plus dispendieux que ceux du client 2 à 6 heures par point de fonction.

Les projets de développement du client 1 de 8 heures par point de fonction sont plus dispendieux que ceux du client 2 à 7 heures par point de fonction.

Les projets de développement de 7 heures par point de fonction sont plus dispendieux que ceux de la maintenance perfective à 6 heures par point de fonction.

## CONCLUSION

L'échantillon de données que nous avons exploité a été ordonné de manière à faciliter la manipulation de sous échantillons découpés selon différents critères. Ce découpage facilite l'analyse des situations réelles d'estimation.

Notre échantillon a été analysé selon un modèle basé sur les points de fonction non ajustés.

Nous avons démontré, par le biais des points de fonction dans le **chapitre 4.2**, l'importance de considérer des découpages de données par rapport à la réalité industrielle, soit répondre à des questions d'estimation par rapport à un client et pour un type bien précis de projet. Cette approche est différente à celle qui se base uniquement sur une vue statistique.

Dans le même contexte, nous avons démontré dans le **chapitre 5.8** que chaque client est caractérisé par ses propres équations de régression et que la séparation des types de projets est de mise pour une meilleure qualité des estimations.

Une des techniques de raffinement utilisées dans notre étude pour améliorer la qualité des modèles des échantillons étudiés est principalement la technique de l'élimination des "outliers" visibles sur les courbes de régression. Cette technique, combinée à celle de l'élimination basée sur les profils fonctionnels, a été illustrée par un exemple appliqué sur l'effort en fonction des points de fonction du client 2.

Le concept de profil fonctionnel proposé par Abran [1994] est un élément important qui caractérise notre étude en l'introduisant comme technique efficace de raffinement d'échantillons. Ce concept est basé sur l'analyse d'un profil fonctionnel déterminé à partir de l'analyse de la distribution moyenne des cinq fonctions types caractérisant un



échantillon de projets convenablement découpé et dont la taille fonctionnelle est mesurée en points de fonction.

Une nouvelle technique de raffinement, basée sur ce concept, a été introduite dans cette étude dans le **chapitre 4.4.3**; nous l'avons utilisée pour explorer de nouveaux découpages des ensembles de données en les définissant dans des intervalles bien précis pour chacune des fonctions types des points de fonction.

Une application des points de fonction à l'analyse de la productivité nous a conduit à comparer les résultats du client 1 versus client 2. Ces informations sont d'une importance primordiale dans un contexte d' 'outsourcing'.

Les découpages de l'échantillon analysé ont été effectués indépendamment du type de technologie utilisée dans le développement ou de maintenance des projets ainsi que de la qualité et l'expertise des ressources utilisées.

Dans nos analyses, la technique de regroupement et de découpage, basée sur la notion du profil fonctionnel combinée à la technique d'élimination des "outliers" au niveau des courbes de régression, a produit des modèles de productivité et d'estimation avec de meilleurs coefficients de régression. Ces équations pourront être utilisées pour estimer les nouveaux projets avec des marges d'erreurs connues et plus intéressantes. Les deux tableaux LXVI et LXVII montrent l'efficacité de ces deux techniques dans l'analyse de la relation entre l'effort et la taille du logiciel en points de fonction.

Tableau LXVI

Récapitulation des résultats de l'effort en fonction des PF  
Points extrêmes

	R2			RRMS			PRED(0.25)		
	l n l t l a l	R a f f l i n é	A m é l i o r a t i o n	l n l t l a l	R a f f l i n é	A m é l i o r a t i o n	l n l t l a l	R a f f l i n é	A m é l i o r a t i o n
<b>Elimination des "Outliers" au niveau des courbes de régression</b>									
Effort / Client1	0.55	0.04	non	0.91	0.4	oui	0	0	
Effort / Client2	0.96	0.75	non	0.58	0.44	oui	38.79	44.44	oui
Effort / Développement	0.43	0.59	oui	0.89	0.61	oui	12.9	12.05	non
Effort / Perfective	0.49	0.87	oui	0.64	0.32	oui	26.67	52.86	oui
Effort / Client1 / Développement	0.53	-	-	0.88	-	-	0	-	-
Effort / Client1 / Perfective	0.06	-	-	0.2	-	-	66.67	-	-
Effort / Client2 / Développement	0.6	0.76	oui	0.11	0.48	non	28.95	31.43	oui
Effort / Client2 / Perfective	0.5	0.82	oui	0.63	0.37	oui	29.85	56.92	oui
Effort / Client 2 / Développement / 1994	0.99	0.98	-	0.07	0.14	non	44.44	75	oui
Effort / Client 2 / Développement / 1995	0.71	0.94	oui	0.86	0.37	oui	30	33.33	oui
Effort / Client 2 / Développement / 1996	0.62	0.89	oui	0.53	0.27	oui	33.33	27.27	non
Effort / Client 2 / Développement / 1997	0.47	0.96	oui	0.47	0.13	oui	40	100	oui
Effort / Client 2 / Développement / 1998	0.7	-	-	0.2	-	-	66.67	-	-
Effort / Client 2 / Perfective / 1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Effort / Client 2 / Perfective / 1995	0.15	0.88	oui	1.03	0.38	oui	6.67	21.42	oui
Effort / Client 2 / Perfective / 1996	0.59	0.86	oui	0.56	0.34	oui	18.18	52.38	oui
Effort / Client 2 / Perfective / 1997	0.77	0.93	oui	0.36	0.19	oui	52.3	65	oui
Effort / Client 2 / Perfective / 1998	0.85	0.99	oui	0.26	0.05	oui	83.33	100	oui

Tableau LVII

Récapitulation des résultats de l'effort en fonction des PF  
Profil fonctionnel

	R2			RRMS			PRED(0.25)		
	Interval	Raffinement	Amélioration	Interval	Raffinement	Amélioration	Interval	Raffinement	Amélioration
<b>Elimination des "Outliers" en utilisant la technique des profils fonctionnels</b>									
Effort / Client1	0.04			0.4			0	-	-
Effort / Client2	0.75	0.74	=	0.44	0.42	oui	44.44	46.47	oui
Effort / Développement	0.59	0.42	non	0.61	0.58	oui	12.05	17.95	oui
Effort / Perfective	0.87	0.92	oui	0.32	0.24	oui	52.86	62.5	oui
Effort / Client1 / Développement	0.53	-	-	0.88	-	-	0	-	-
Effort / Client1 / Perfective	0.06	-	-	0.2	-	-	66.67	-	-
Effort / Client2 / Développement	0.76	0.8	oui	0.48	0.41	oui	31.43	42.86	oui
Effort / Client2 / Perfective	0.82	0.82	=	0.37	0.36	oui	56.92	56.41	non
Effort / Client 2 / Développement / 1994	0.99	0.98	=	0.07	0.14	non	44.44	75	oui
Effort / Client 2 / Développement / 1995	0.94	0.97	oui	0.37	0.21	oui	33.33	50	oui
Effort / Client 2 / Développement / 1996	0.89	0.86	=	0.27	0.25	oui	27.27	33.33	oui
Effort / Client 2 / Développement / 1997	0.96	-	-	0.13	-	-	100	-	-
Effort / Client 2 / Développement / 1998	0.7	-	-	0.2	-	-	66.67	-	-
Effort / Client 2 / Perfective / 1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Effort / Client 2 / Perfective / 1995	0.88	0.88	=	0.38	0.27	oui	21.42	60	oui
Effort / Client 2 / Perfective / 1996	0.88	0.85	=	0.31	0.35	non	55	52.94	non
Effort / Client 2 / Perfective / 1997	0.93	0.94	=	0.19	0.22	non	65	64.28	non
Effort / Client 2 / Perfective / 1998	0.99	-	-	0.05	-	-	100	-	-

La technique d'intersection des intervalles des profils fonctionnels raffine plus les équations des points de fonction et améliore la qualité des estimations. L'inconvénient de cette technique est le nombre de projets obtenu dans l'intervalle de l'intersection qui est parfois trop petit pour être statistiquement acceptable.

Selon une situation d'estimation qu'il veut résoudre, l'estimateur qui veut utiliser des modèles basés sur les points de fonction doit mener une approche adaptée au cas particulier du sujet d'analyse, en tenant compte des paramètres influençant les modèles utilisés comme le temps et la taille de l'échantillon. Donc, le choix du modèle, un découpage adéquat de l'échantillon et l'application des techniques de raffinement

constituent les éléments clés d'une bonne analyse de modèles basés sur les points de fonction. Les résultats d'une telle démarche peuvent être utilisés pour produire des estimés plus précis à partir de données historiques provenant de l'industrie.

Nous avons démontré dans cette étude que :

- L'effort est fortement dépendant de la taille fonctionnelle du logiciel à développer (et mesuré en points de fonction), par contre la durée l'est moins.
- L'effort des projets de maintenance perfective dépend plus des PF que les projets de développement et est aussi plus précis.

La dépendance de la durée en fonction des points de fonction est faible dans les deux types de projets potentiels considérés.

La non dépendance de la durée en fonction de l'effort.

Enfin, selon les échantillons disponibles, nous avons présenté différents tableaux de productivité qui permet à l'analyste de comparer la productivité de différents points de vue.

### **Leçons clés apprises**

Selon les données dont nous disposons, l'utilisation des points de fonction au sein de CSC est caractérisée par les aspects suivants :

CSC consacre un effort considérable pour effectuer les travaux de mesures des points de fonction;

Dans l'échantillon étudié aucun projet n'a été estimé initialement en utilisant des modèles basés sur les points de fonction. En adoptant ce type de méthodes, CSC pourrait améliorer la qualité de ses estimés. L'intérêt de cette approche réside dans le fait que les PF peuvent être calculés plus tôt lorsque les projets commencent.

Dans l'étude de [Kitchenham 2001] seulement quelques découpages des données ont été effectués, et pour ces découpages il a été conclu que l'utilisation des points de fonction dans le domaine de l'estimation est moins précise que d'autres méthodes. Toutefois, les regroupements et découpages utilisés par [Kitchenham 2001] pour les analyses statistiques avaient certaines limites inhérentes limitant la portée de cette analyse. Dans ce travail nous avons exploré des regroupements et découpages différents, en faisant attention en particulier à regrouper et segmenter les données par organisations, et non pas en les consolidant en un seul ensemble.

### **Travaux futurs**

Les résultats de notre étude proviennent d'analyses statistiques de 145 projets du client 2, analyses complémentaires à celles décrites par Kitchenham et al. La généralisation de nos conclusions à d'autres ensembles de données nécessite l'application des mêmes techniques de statistiques à d'autres groupes de données provenant d'autres organisations.

Si d'autres ensembles de données devenaient disponibles, un autre chercheur pourrait compléter la tâche d'analyser les données de ces différentes organisations. Le chercheur pourrait comparer les résultats d'estimation de l'effort de maintenance et de développement en utilisant les mêmes données de base, que nous avons exploitées, par rapport aux autres échantillon (par exemple, plus de 30 projets par échantillon) par organisation.

Dans un but d'améliorer la qualité des estimés, le chercheur pourrait inclure d'autres facteurs, comme le type de technologie utilisée par projet. Le découpage de l'échantillon devra alors tenir compte de cette nouvelle variable.

### **Autres pistes de recherche**

Dans cette étude nous avons constaté, selon les différents découpages des échantillons analysés, la faible dépendance de la durée en fonction de PF. La capture de la taille des équipes de développement ou de maintenance pour chaque projet pourrait aider à analyser cette relation et d'en dériver des modèles d'estimation [Kitchenham 2001].

## ANNEXES

Les annexes sont enregistrées sur le CD\_ROM attaché à la fin du document.

Effort-Raffinement-Equation Regression-Tous

Effort-Raffinement-Equation Regression-Client1-Dév-Perf

Effort-Raffinement-Equation Regression-Client2

Effort-Raffinement-Equation Regression-Client2-Développement

Effort-Raffinement-Equation Regression-Client2-Perfective

Effort-Raffinement-Equation Regression-Client2-Autres

Effort-Raffinement-Equation Regression-Développement

Effort-Raffinement-Equation Regression-Perfective

Profil-Fonctionnel Effort-Client2-EI EO ILF EQ

Profil-Fonctionnel Effort-Client2-EIF

Profil-Fonctionnel Effort-Client2-EI

Profil-Fonctionnel Effort-Client2-EO

Profil-Fonctionnel Effort-Client2-EQ

Profil-Fonctionnel Effort-Client2-ILF

Profil-Fonctionnel Effort-Client2 Intersections

Duree-Raffinement-Equation Regression-Tous

Duree-Raffinement-Equation Regression-Client1-Dév-Perf

Duree-Raffinement-Equation Regression-Client2

Duree-Raffinement-Equation Regression-Client2-Développement

Duree-Raffinement-Equation Regression-Client2-Perfective

Duree-Raffinement-Equation Regression-Client2-Autres

Duree-Raffinement-Equation Regression-Développement

Duree-Raffinement-Equation Regression-Perfective

Profil-Fonctionnel Duree-Client2-EI EO ILF EQ

Profil-Fonctionnel Duree-Client2-EIF

Profil-Fonctionnel Duree-Client2-EI  
Profil-Fonctionnel Duree-Client2-EO  
Profil-Fonctionnel Duree-Client2-EQ  
Profil-Fonctionnel Duree-Client2-ILF  
Profil-Fonctionnel Duree-Client2 Intersections  
Effort-Duration-Raffinement-Equation Regression-Tous  
Effort-Duree-Raffinement-Equation Regression-Client1-Dév.  
Effort-Duree-Raffinement-Equation Regression-Client2  
Effort-Duree-Raffinement-Equation Regression-Client2-Dév.  
Effort-Duree-Raffinement-Equation Regression-Client2-Perfective  
Effort-Duree-Raffinement-Equation Regression-Client2-Autres  
Effort-Duree-Raffinement-Equation Regression-Développement  
Effort-Duree-Raffinement-Equation Regression-Perfective  
Resultats-Effort  
Resultats-Duree  
TRSE0102 (Document technique de l'étude de Kitchenham)



## BIBLIOGRAPHIE

[Kitchenham 2001] Barbara Kitchenham, Shari Lawrence Pfleeger, Beth McColl and Suzanne Eagan (2001) "*An Empirical Study of Maintenance and Development Estimation Accuracy*", The journal of systems and software, England

[Abran 2002] Alain Abran, Iphigénie Ndiaye, Pierre Bourque (2002) "*Contribution of Software Size in Effort Estimation*", École de technologie supérieure, Université du Québec, Canada

[Abran 1994] Marcela Maya, Alain Abran (1994) "*Function Points Adapted to Small Maintenance Requests*", Université du Québec à Montréal, Canada

[Albrecht 1983] Albrecht, A. and J. Gaffney Jr. (1983) "*Software function, source lines of code and development effort prediction: a software science validation*," IEEE Transactions on Software Engineering, SE-9(6), pp. 639-648.

[Boehm1981] Boehm, B.W. (1981) *Software Engineering Economics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

[Banker 1989] Banker, R. D. and C.F. Kemerer. (1989) "*Scale economies in New Software Development*," , IEEE Transactions on Software Engineering, SE-15(10), pp. 1199-1205.

[Conte 1986] Conte, S.D., H.E. Dunsmore and V.Y. Shen. (1986) *Software Engineering Metrics and Models*, Benjamin/Cummings, California.

[Cook 1982] Cook, R.D. and S. Weisberg. (1982) *Residuals and Influence in Regression*. Chapman and Hall, New York.

[DeMarco1982] DeMarco, T. (1982) *Controlling Software Projects*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

[Dolado 2001] Dolado, J.J. (2001) "*On the problem of the software cost function*," Information and Software Technology, 43(1), pp61-72.

[Hughes 1997] Hughes, R.T. (1997) "*An empirical investigation into the estimation of software*," Ph.D. dissertation, University of Brighton, England.

- [Kemerer 1987] Kemerer, C.F. (1987). "*An empirical validation of software cost estimation models*," Communications of the ACM, 30(5), pp. 416-429.
- [Kitchenham 1992] Kitchenham, B.A. (1992) "*Empirical studies of assumptions that underlie software cost estimation models*" Information and Software Technology, 34(4), pp. 304-310.
- [Kitchenham 1997] Kitchenham, B.A. and S.G. Linkman. (1997) "*Estimates, uncertainty and risk*," IEEE Software, 14(3), May, pp. 69-74.
- [Kitchenham 1999] Kitchenham, B.A., G.H. Travassos, A. von Mayhauser, F. Niessink, N.F. Schneidewind, J. Singer, S. Takada, R. Vehvilainen and H. Yang. (1999) "*Towards an ontology of software maintenance*," Journal of Software Maintenance: Research and Practice, vol 11, pp.365-389.
- [Klein 1998] Klein, Gary. (1998) Sources of Power: *How People Make Decisions*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [Lientz 1980] Lientz, B. and E. B. Swanson. (1980) *Software Maintenance Management*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- [Londeix 1987] Londeix, B. (1987) *Cost estimation for software development*. Addison-Wesley.
- [Low 1990] Low, G.C. and D.R. Jeffery. (1990) "*Function points in the estimation and evaluation of the software process*," IEEE Transactions on Software Engineering, 16(1), pp. 64-71.
- [Matson 1994] Matson, J.E., B.E. Barrett and J.M. Mellichamp. (1994) "*Software development cost estimation using function points*," IEEE Transactions on Software Engineering, 20(4) pp. 275-287.
- [Pfleeger 2000] Pfleeger, Shari Lawrence. (2000) "*Risky business: what we have yet to learn about risk management*," Journal of Systems and Software, 53(3), pp265-273.
- [Pickard 1999a] Pickard, L.M., B.A. Kitchenham and S.J. Linkman. (1999a) "*Investigation of analysis techniques for software data sets*," Technical report, Department of Computer Science, Keele University, TR99-05.
- [Pickard 1999b] Pickard, L.M., B.A. Kitchenham and S.J. Linkman. (1999b) "*An investigation of analysis techniques for software data sets*," Proceedings of the Sixth International Symposium on Software Metrics (Metrics 99), IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California.

- [Ratkowsky 1983] Ratkowsky, D.A. (1983) Nonlinear Regression Modeling. Marcel Decker, New York
- [Rosenberger 1996] Rosenberger, W.F. "*Dealing with multiplicities in pharmacoepidemiologic studies*," *Pharmacoepidemiology and Drug Safety*, 5, 1996, pp.95-100
- [Shepperd 1997] Shepperd, M.J. and C. Schofield, (1997). "*Estimating software project effort using analogies*," *IEEE Transactions on Software Engineering*, 23(11), pp. 736-743.
- [Stensrud 1998] Stensrud, E. and I. Myrveit, (1998) "*Human performance estimating with analogy and regression models: An empirical validation*, *Proceedings of the Fifth International Software Metrics Symposium (Metrics '98)*, Bethesda, Maryland, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, November, pp. 205-213.
- [Vicinanza 1990] Vicinanza, S., M.J. Prietula and T. Mukhopadhyay. (1990) "*Case-based reasoning in software estimation*," *Proceedings of the 11th International Conference on Information Systems*, Copenhagen, Denmark, pp. 149-158.
- [Vicinanza 1991] Vicinanza, S., T. Mukhopadhyay and M.J. Prietula. (1991) "*Software effort estimation: An exploratory study of expert performance*," *Information Systems Research*, 2(4), pp. 243-262.